



Universidad de Valladolid

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN PROFESOR DE EDUCACIÓN
SECUNDARIA OBLIGATORIA Y
BACHILLERATO, FORMACIÓN PROFESIONAL
Y ENSEÑANZAS DE IDIOMAS

Especialidad de Tecnología e Informática

Web 3.0 y Blockchain en la Educación Secundaria

Autor:

D. Alberto Díez Arias

Tutor:

D. Manuel Barrio Solórzano

Valladolid, 21 de Julio de 2023

Contenido

Resumen.....	1
Abstract.....	1
1. Introducción.....	3
1.1. Objetivos.....	4
1.2. Contenido.....	5
2. La Web 3.0.....	7
2.1. Fases de desarrollo de la Web.....	9
2.1.1. La Web 1.0.....	9
2.1.2. La Web 2.0.....	10
2.1.3. La Web 3.0.....	12
2.2. Blockchain.....	14
2.2.1. Las ventajas de la Blockchain.....	18
2.2.2. Las desventajas de la Blockchain.....	19
2.3. Tokens no fungibles (NFT).....	21
3. Estado del arte.....	24
3.1. Blockchain en educación.....	24
3.1.1. Blockchain en emisión de certificados académicos.....	24
3.1.2. Insignias Inteligentes en la Blockchain.....	32
3.1.3. Exámenes empleando smart contracts.....	35
3.1.4. Otras aplicaciones de blockchain en educación.....	36
3.2. NFT en educación.....	37
3.2.1. Certificados NFT: NFTCert.....	37
3.2.2. Gamificación mediante recompensas NFT.....	39
4. Una educación descentralizada: Propuestas.....	41
4.1. Un pasaporte educativo descentralizado para la UE.....	42
4.2. Una prueba de acceso a la universidad digitalizada y basada en blockchain.....	47
4.3. Una red blockchain en el sector de la educación pública....	51
5. Conclusiones y vías de investigación futuras.....	54
Referencias.....	58

Resumen

La evolución de la Web hasta la que se considera su edición 3.0 viene definida por un cambio de mentalidad descentralizadora que defiende que los datos de los usuarios no deberían estar en manos de una sola corporación o administración central, sino que su control debe devolverse a los usuarios. Para este fin, han surgido una serie de tecnologías relacionadas a esta Web 3.0, como la tecnología blockchain. En este trabajo se define qué es la Web 3.0, la blockchain y otras tecnologías asociadas, y se estudia el estado del arte de la aplicación de estas tecnologías en el ámbito de la educación. Finalmente, y debido a la falta de bibliografía al respecto en el ámbito de la educación secundaria, en este trabajo se sugieren tres propuestas de implementación de estas tecnologías de la Web 3.0 en la etapa de educación secundaria en España.

Palabras clave: Web 3.0, blockchain, NFT, educación secundaria

Abstract

The evolution of the Web toward what's considered its 3.0 version it's defined by a decentralizing mindset that argues that user's data shouldn't be in the hands of a single corporation or centralized administration, but its control should be returned to the users. For this end, some technologies related to this Web 3.0 have arisen, such as the blockchain technology. In this work Web 3.0, blockchain and other related technologies are defined, and the state-of-the-art of the application of these technologies on the education field is studied. Finally, due to the lack of bibliography on the matter of secondary education, three proposals for the implementation of these Web 3.0 technologies in the Spanish secondary education are given.

Keywords: Web 3.0, blockchain, NFT, secondary education.

1. Introducción

Durante los últimos años, y con la popularización de Internet y el desarrollo de la World Wide Web, ha existido un auge de las grandes compañías de Internet, administradoras de los datos y la información personal de sus usuarios. Como respuesta para arrebatarse el control de nuestros datos a estas compañías y devolvérsela a los usuarios surge el concepto de Web 3.0 o Web3. Se trata de una nueva forma de entender la Web vinculada al concepto de la descentralización.

Se entiende como descentralización como el proceso de pasar de un modelo en el que las funciones o elementos de un sistema están gestionados u organizados en torno a una forma de administración central a un modelo en el que esas funciones o elementos son delegadas a partes más pequeñas de ese sistema. Existen diversas formas de descentralización en función de a qué se haga referencia: descentralización administrativa, descentralización fiscal, descentralización política... (Wikipedia contributors, 2023).

En el ámbito educativo, el término 'descentralización' puede tomar diferentes interpretaciones. Por una parte, podemos estar hablando de un proceso de descentralización administrativa. En España, existe un modelo jerarquizado y descentralizado en el que las distintas competencias y funciones se reparten entre las distintas entidades que conforman el sistema educativo: el Estado, representado por el Ministerio de Educación, las Consejerías o Departamentos de Educación de las diferentes Comunidades Autónomas, las Administraciones locales y finalmente los centros educativos. Por otra parte, hay quien entiende la descentralización de la educación como el paso entre un modelo en el que todos los alumnos aprenden lo mismo, a través de los mismos medios y formas de evaluación por otro más personalizado que tiene en cuenta las capacidades y particularidades individuales de cada alumno. Esto pone como protagonista al alumno para individualizar el aprendizaje y que muestre una mayor capacidad de aprendizaje (Rodríguez, 2022).

El concepto de Web 3.0 está asociado a una serie de tecnologías cuyos principios son el de pasar de sistemas centralizados de almacenamiento de la información por sistemas descentralizados, transparentes, fiables y verificables. El mayor exponente de tecnología descentralizadora de la Web 3.0 es la llamada tecnología de cadena de bloques o, más popularmente conocida por su término en inglés: la tecnología blockchain.

1.1. Objetivos

Los objetivos de este trabajo son analizar cómo el espíritu descentralizador de la Web 3.0 y de la blockchain pueden influir en la educación, estudiar posibles aplicaciones existentes en la actualidad basados en estos paradigmas, valorar las posibilidades de sus aplicaciones, con sus ventajas y desventajas, así como realizar una serie de propuestas que puedan resultar beneficiosas para el sistema educativo. Todo ello aplicado al ámbito de Educación Secundaria Obligatoria (ESO) y Bachillerato, tal y como se ordena la educación española según la legislación vigente (Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre).

El interés por estudiar el impacto de estas tecnologías en la educación está justificado. Ya en 2017, el Centro de Investigación Común de la Comisión Europea (JRC), realizó un estudio sobre el impacto de la tecnología blockchain en la educación. En dicho estudio, se describen implementaciones reales de esta tecnología en el ámbito de la educación, como lo son el caso de la Universidad de Nicosia, el MIT o la Open University de Reino Unido en los que se emplea tecnología blockchain para, por ejemplo, autenticar y emitir certificados digitales. Además, en dicho estudio, se analizan las posibles ventajas de implementar la blockchain en la educación y se recomienda seguir desarrollando y considerando el uso de esta tecnología en el ámbito educativo (Grech et al., 2017).

Hay que puntualizar que no se trata de afirmar que estas tecnologías ni el modelo de la Web 3.0 son el futuro de la educación. Como

se verá a lo largo de este trabajo ya existen aplicaciones de estas tecnologías y propuestas de modelos descentralizados, así como proyectos y estudios que apuestan por la introducción de estas tecnologías, algunos desde las instituciones europeas, como el mencionado anteriormente, pero es impredecible saber con seguridad cuál va a ser la tendencia de los próximos años ni el devenir del futuro. Estas tecnologías llevan pocos años de desarrollo y es difícil prever el alcance, oportunidades o consecuencias de su aplicación a largo plazo. Es por ello por lo que existe un gran interés en su estudio, especialmente en un ámbito tan importante para la sociedad como lo es la educación.

Existen también ciertos prejuicios a la hora de hablar de la tecnología de blockchain dada su estrecha relación con las llamadas criptomonedas o criptodivisas, o los NFT que, en muchos casos, se les asocia connotaciones negativas por el uso que algunos puedan hacer de ellas (estafas, especulación...) y también por la huella de carbono que puedan dejar estas tecnologías. Se trata de realizar un acercamiento objetivo a estas tecnologías dado su un gran potencial, teniendo en cuenta estas posibles preocupaciones que el uso de ellas pueda generar en la población.

Internet ya ha cambiado la forma de entender la educación (Tesouro Cid, 2004), así como la popularización de dispositivos digitales en las aulas, y pensar que la llegada de la Web 3.0 y las tecnologías que la acompañan no puedan suponer un cambio en la forma de entender la educación o que requiera ser objeto de estudio es, cuanto menos, poco previsor.

1.2. Contenido

Este trabajo se estructura de la siguiente forma:

- **La Web 3.0:** En este capítulo se definirá con más detalle qué es la Web3 y se describirán algunas de las tecnologías que están asociadas a ella. También se desarrollará en qué consiste la tecnología blockchain y cómo funciona, sus ventajas y desventajas, así como qué es un NFT.

- **Estado del arte:** En este capítulo se describen diferentes aplicaciones recientes, estudios y propuestas relacionados con tecnologías de la Web 3.0, en concreto blockchain y NFT, en el ámbito de la educación, tanto secundaria como superior.
- **Aplicaciones:** En este capítulo se realizan 3 propuestas de aplicación de tecnología blockchain en el ámbito de la Educación Secundaria Obligatoria y el Bachillerato en base a lo analizado en las anteriores secciones.
- **Conclusiones y vías de investigación futuras:** Como su propio nombre indica y tras lo visto a lo largo del trabajo, en este capítulo se realiza una conclusión en base a lo expuesto y se sugerirán posibles vías de investigación para futuros trabajos.

2. La Web 3.0

El término Web 3.0, también denominado Web3, define un estado en el desarrollo de la Web al que se asocian una serie de características o tecnologías. No se trata, no obstante, de una definición exacta, sino que es un conjunto de ideas que tratan de imaginar cuál será el siguiente paso de la evolución de la web en el futuro (Rojas, 2022).

Son muchas y variadas las características asociadas a esta nueva Web 3.0: un mejor análisis y comprensión de los datos, una mayor personalización para cada usuario, mayor accesibilidad, webs interconectadas y búsquedas inteligentes... Sin embargo, una de las características más representativas de esta Web 3.0 es la del principio de descentralización de los datos. Esto no solo garantiza que los datos pasen de estar bajo el control de los usuarios en lugar de grandes compañías o administraciones, sino que ofrece mayores niveles de seguridad, privacidad y transparencia.

El término de Web 3.0 no es reciente. La primera mención de la Web 3.0, según Codina (2009), se corresponde a un artículo en ZDNet por Phil Wainwright publicado en noviembre de 2005. Sin embargo, las características de esta Web 3.0 distan mucho de parecerse a las antes mencionadas. Codina propone una Web 3.0 con algunas características que se acercan al concepto que se tiene hoy día de la Web 3.0, como los elementos compartidos con lo que se denomina Web Semántica o la ubicuidad de la web, concepto que hace referencia a la descentralización de esta.

Existe un relativo consenso sobre cuáles son las características y las tecnologías empleadas en esta llamada Web 3.0, algunas de las cuales se listan a continuación y cuyos puntos serán desarrollados con más detalle en posteriores secciones:

- **Blockchain y redes P2P:** una cadena de bloques o blockchain es una forma de organizar los datos de forma que la información se agrupa en bloques en los que se referencian los bloques

anteriores. Esta tecnología emplea técnicas de criptografía asimétrica para hacer que la información se almacene en ella de forma segura. La blockchain no se encuentra almacenada en un sistema centralizado, sino que cada participante de la cadena tiene una copia de esta, convirtiéndose cada uno en un nodo de una red peer-to-peer (P2P) descentralizada.

- **NFT:** se denomina token-no-fungible, o non-fungible-token (NFT) a un activo único digital, encriptado mediante tecnología blockchain antes mencionada. Cada NFT representa un elemento único que no se puede intercambiar por otros elementos únicos. Una de sus propiedades más útiles es la capacidad que tienen de proporcionar autenticidad y propiedad.
- **Inteligencia artificial:** hablamos de inteligencia artificial (IA) al referirnos a la capacidad de algunas máquinas o programas informáticos que son capaces de imitar algunos comportamientos humanos, como son la capacidad de razonamiento y toma de decisiones, la capacidad de aprender, a la capacidad creativa, la capacidad de analizar datos... Algunos ejemplos de herramientas que emplean inteligencia artificial son las herramientas de generación de imágenes o los sistemas conversacionales basados en IA.
- **Realidad virtual y realidad aumentada:** el desarrollo de tecnologías y dispositivos de realidad virtual (RV), como gafas 3D, permiten la creación de entornos virtuales con los que interactuar o compartir con otros usuarios. Esto ha dado lugar al desarrollo de conceptos como el metaverso, espacios virtuales y persistentes a los que múltiples usuarios pueden acceder simultáneamente, que también puede incorporar elementos como NFT. Por otra parte, el término de realidad aumentada (RA) se refiere a la superposición de imágenes virtuales con imagen real. Esto puede conseguirse mediante gafas de RV pero también a través de otros dispositivos equipados con cámara como smartphones, tabletas u ordenadores portátiles.
- **Web Semántica:** el concepto de Web Semántica es diferente al de Web 3.0, aunque en algunas bibliografías puede encontrarse

relacionado con la Web 3.0, e incluso algunas fuentes afirman que se trata de sinónimos (colaboradores de Wikipedia, 2023a). No obstante, se trata de conceptos diferentes, pues la Web 3.0 se centra más en los aspectos más descentralizadores, mientras que la Web semántica hace referencia a convertir la Web en una red de datos, en la que los navegadores puedan entender la información de las páginas web y relacionar entre sí dicha información, empleando para ello conceptos como los de ontologías o metadatos (datos sobre los datos). El concepto de la Web Semántica fue introducido por el propio Tim-Berners Lee, el padre de la Web (colaboradores de Wikipedia, 2022).

Dado que el objetivo de este trabajo es el de analizar cómo la Web 3.0 puede contribuir a descentralizar la educación y cuáles serían sus implicaciones, en este trabajo se analizarán con más profundidad las tecnologías referentes a ese aspecto descentralizador, es decir la tecnología blockchain. Puesto que el concepto de NFT está estrechamente relacionado con la tecnología blockchain, también será desarrollado con más detalle en secciones posteriores.

2.1. Fases de desarrollo de la Web

Para comprender mejor el concepto de la Web 3.0 y, antes de describir con mayor detalle las tecnologías blockchain y NFT, es conveniente hacer un repaso histórico por las diferentes fases de desarrollo de la web con el fin de dar contexto al marco en el que nos encontramos. Puesto que el objeto de estudio de este trabajo es el impacto de las tecnologías de la Web 3.0 en la educación, se analizará cuál ha sido el impacto que dichas fases han supuesto en el ámbito de la educación.

2.1.1. La Web 1.0

El término Web 1.0 hace referencia al primer estado de la Web. La Web fue desarrollada por Tim Berners-Lee con ayuda de Robert Cailliau en

torno al año 1989, en el seno de la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN) (colaboradores de Wikipedia, 2023b). Esta primera versión de la Web era la de un conjunto de páginas web estáticas interconectadas entre sí por medio de hipertexto. Era una versión de sólo lectura: los creadores de contenido publicaban el contenido en la Web y éste era inmutable, mientras que los usuarios tan sólo consumían ese contenido de forma pasiva (Goel, 2022).

En cuanto al impacto sobre la educación, la propia concepción y desarrollo de la Web tuvo lugar como una forma para que los científicos de diferentes universidades e instituciones pudieran compartir información de forma inmediata (*The birth of the Web / CERN, 2023*). Aunque no es una forma directa de educación, el concepto de que diferentes equipos de investigación colaboren para compartir conocimientos a través de la Web tiene implicaciones educativas. Si bien antes del desarrollo de la Web ya existían precedentes de redes de comunicación basadas en Internet con fines educativos o de investigación, como es el caso de la NSFNET (colaboradores de Wikipedia, 2021a), la aparición y consiguiente popularización ha cambiado la forma de aprender y de enseñar. Se ha democratizado el acceso al conocimiento a través de la Web y esto ha tenido implicaciones en la educación (Tesouro Cid, 2004).

2.1.2. La Web 2.0

En 2004, el fundador y presidente de la editorial O'Reilly Media, Tim O'Reilly, popularizó el concepto de Web 2.0 (también conocida como Web Social) durante una conferencia. Posteriormente, este nuevo concepto fue definido con más detalles y se le asociaron principios como los de tener a la comunidad como plataforma o una arquitectura de participación (colaboradores de Wikipedia, 2023c). Esta versión de la Web se caracteriza por permitir que los usuarios también sean creadores y convertirse en una Web mucho más participativa, colaborativa e interactiva. La Web deja de ser un conjunto de páginas web de sólo lectura para convertirse en una serie de páginas en las que los usuarios pueden subir contenido, comentar

o editar (Dabit, 2021). Se corresponde al auge de las redes sociales y a la Web que conocemos actualmente.

La información generada en estas webs es almacenada en servidores de forma centralizada. Aparecen los gigantes tecnológicos, empresas como Google, Facebook, Twitter, Amazon... que monopolizan y gestionan el control de la información que fluye en la Web. Los usuarios no son quienes tienen el control sobre cómo se usan los datos almacenados en la Web, sino que son estas compañías y plataformas las que lo hacen. Los datos de los usuarios son aprovechados por éstas para generar anuncios personalizados que conducen a mayores beneficios, y la centralización de los datos no sólo permite a estas compañías o incluso a los gobiernos a interferir en la vida de los ciudadanos, llegando a poder alterarse hasta la opinión de sociedades enteras (Rosenberg et al., 2019), sino que expone a los datos de los usuarios a posibles fugas, filtraciones o ataques informáticos. Contraseñas, datos bancarios, direcciones... todos los datos almacenados en una base de datos centralizada pueden quedar expuestos, vulnerando la privacidad de los usuarios (Goel, 2022).

A pesar de todo, la Web 2.0 supuso un gran cambio en el ámbito de la educación. Una de las herramientas nacidas de la Web 2.0 son las denominadas wikis, sitios web colaborativos donde los usuarios pueden leer, editar, modificar y borrar el contenido que hay en sus páginas. Su uso en la elaboración de enciclopedias y glosarios hace óptimo su uso en grupos de trabajo con varias personas o grupos de investigación. Estos sitios no solamente permiten la creación de contenido de forma colaborativa de forma fácil y versátil, sino que permiten ver cambios, incluir referencias, etc. El máximo exponente de este tipo de herramientas es el de Wikipedia, pero su uso también es ampliamente utilizado en el ámbito educativo, siendo muchas sus posibilidades (Wiki, s.f.).

Otras herramientas surgidas de la Web 2.0 son los blogs, las redes sociales, los sistemas de gestión de aprendizaje, las herramientas orientadas a e-learning, los videoblogs, los mapas interactivos, los podcasts... (García, 2023). Cualquiera de estas herramientas ya es hoy día una herramienta de uso común para la educación. Plataformas basadas en Moodle son comunes en las instituciones educativas, sitios como

YouTube sirven como medio de divulgación de contenidos divulgativos y educativos, por no hablar de blogs orientados a educación, herramientas digitales online, y un largo etcétera.

2.1.3. La Web 3.0

La Web 3.0 está concebida como una reformulación de la Web 2.0 que trata de corregir los problemas que la centralización de los datos traía consigo. Se construye alrededor del concepto de la descentralización con el fin de devolver a los usuarios el control de sus datos, arrebatándoselo a las grandes corporaciones y garantizando la privacidad de los usuarios (Goel, 2022).

La tecnología blockchain ha permitido alcanzar esa descentralización. En el modelo de la Web 2.0 los datos de los usuarios se guardan en bases de datos, sistemas centralizados de almacenamiento de la información. Funcionan como un libro mayor o un registro, donde solo el propietario de la base de datos o aquellos que posean acceso a ella, puede realizar acciones de lectura y escritura. También permiten guardar diversas copias de los datos además de garantizar un acceso a la información rápido y relativamente seguro. Pero, como se ha comentado anteriormente, los datos quedan a merced de los propietarios de esas bases de datos, posibilitando su vulneración, el acceso o filtrado de esos datos o incluso la pérdida de información en caso de borrado total si no existen copias de seguridad. Este modelo centralizado contrasta con el modelo blockchain, donde todos los usuarios comparten ese registro de forma descentralizada, formando una red de iguales P2P sin una autoridad central que la regule, sino un algoritmo de consenso (Iredale, 2023). El funcionamiento de la tecnología blockchain será descrito con más detalle en siguientes secciones de este trabajo, pero sirva esta comparativa para ilustrar el principio de descentralización que trae consigo la Web 3.0 frente al modelo anterior.

Se añaden a este modelo de Web 3.0 los avances alcanzados en inteligencia artificial, realidad virtual y realidad aumentada. La aparición de plataformas como OpenAI investigan y desarrollan sistemas basados

en IA en ámbitos tan diversos como generación de textos a través de chatbots conversacionales o la generación de imágenes y audio (Research, s. f.) y, ya no sólo en los últimos años, sino que, en cuestión de tiempos récord, el acceso a estas plataformas ha aumentado de una forma impactante (Duarte, 2023). Si bien este campo no supone objeto de estudio de este trabajo, resulta conveniente complementar lo aquí expuesto con un estudio más detallado sobre las implicaciones del uso de la IA en el ámbito educativo (Miao, 2021).

En la siguiente figura se observa de forma esquemática la evolución de la Web, desde la Web 1.0 hasta la Web 3.0 que nos concierne, con algunas de las características más definitorias de cada una de sus etapas.



Figura 1. Evolución de la Web.

Las implicaciones educativas de este paradigma no se expondrán en esta sección pues este es precisamente el objeto de estudio de este trabajo.

2.2. Blockchain

Una cadena de bloques o blockchain es una forma distribuida de datos compartida a través de una red de ordenadores, cada uno de los cuales se conoce como nodo (Goel, 2022). Se puede entender también como un sistema descentralizado de libro mayor (en inglés se emplea el término ledger). Cada miembro de la red posee una copia de ese libro, pudiendo ser ésta una copia total o una copia mínima que permita el completo funcionamiento de la red (Geroni, 2023). La información almacenada en ese libro mayor puede ser una transacción, un dato, activos, o cualquier elemento que pueda ser representado digitalmente, y cada una de estas transacciones se conocen como bloques (Grech et al., 2017).

Cada bloque en la blockchain contiene un tipo de dato que viene determinado por la naturaleza de esta. En la blockchain los bloques se ordenan de forma lineal, estando cada uno de ellos vinculado al anterior bloque de forma criptográfica. Esto se realiza a través de un tipo de información contenida en cada bloque conocido como hash. Una función hash es aquella que transforma un elemento de entrada en otro diferente a través de un algoritmo con el fin de encriptar el elemento original (colaboradores de Wikipedia, 2023d). Este hash se emplea para garantizar la autenticidad del bloque y para validar si el bloque debe estar asociado a esa cadena o no. Si alguien intentara cambiar la información de estos bloques, este hash también cambiará y, por tanto, el hash reflejaría que dicho bloque no debería pertenecer a la cadena (Geroni, 2023).

Un bloque puede contener un número limitado de transacciones. Una transacción tiene lugar cuando uno de los miembros de la red envía información a otro. Esta transacción contiene información tanto del valor de la misma, como del emisor y del receptor. Para que esta transacción se lleve a cabo, es importante que exista un consenso entre los miembros que apruebe o rechace dicha transacción. Cada blockchain tiene sus propias reglas y algoritmos de consenso que deben ser seguidos por todos los individuos que la conforman. Estos métodos de consenso requieren que todos los nodos participen. Cuanto mayor es la cadena, más son los nodos participantes y, por tanto, más fuerte es la red (Geroni, 2023).

Los algoritmos de consenso son uno de los elementos clave de la tecnología blockchain, uno de los conceptos de los que surge su idea y también un elemento identificador entre diferentes cadenas. A través de estos algoritmos de consenso se debe llegar a una decisión mayoritaria que favorezca a todos los individuos de la red. Estos requieren que se cumplan principios de cooperación, igualdad de derechos para todos los participantes, la participación de todos los individuos de la red y que todos ellos sean igual de activos. Para construir un sistema descentralizado es necesario que exista un algoritmo de consenso común. Actualmente existen múltiples algoritmos de consenso. Por mencionar algunos, el algoritmo de proof of work es uno de los más conocidos, siendo el primer algoritmo de consenso introducido en las redes de blockchain. El algoritmo consiste en que todos los nodos tratan de resolver un problema matemático complejo que requiere gran capacidad computacional. Cuando uno de estos individuos, llamados mineros, resuelve el problema matemático, se confirma la transacción y se crea el nuevo bloque. Cada nuevo bloque es creado y contiene tanto su función hash, que es la respuesta a dicho problema matemático, como el hash del bloque anterior. El nodo capaz de resolver el problema matemático propuesto recibe un "premio" por ello. Este algoritmo de consenso es el utilizado por la blockchain de Bitcoin. Otro de estos algoritmos de consenso es el de proof of stake, que es el utilizado por la red de Ethereum (Anwar, 2023a).

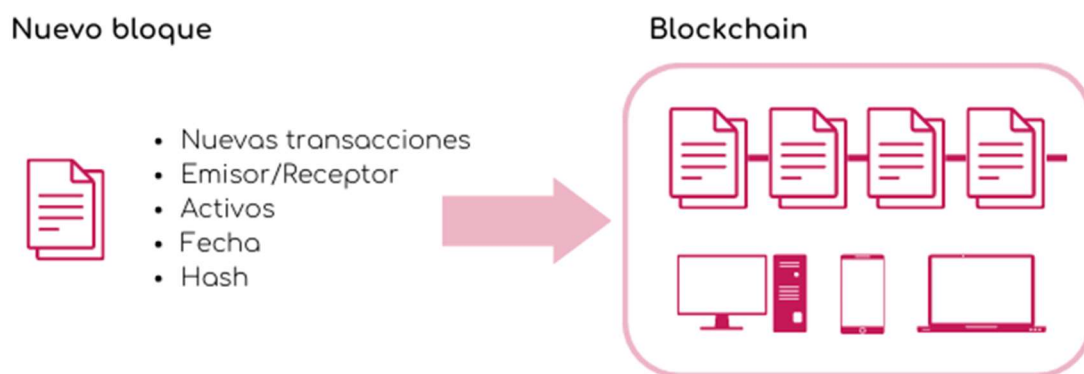
El proceso de funcionamiento de la blockchain queda sintetizado en los siguientes pasos (Anwar, 2023a).

1. En primer lugar, uno de los nodos de la cadena inicia una transacción. Al hacerlo, este nodo firma la transacción con su clave privada.
2. La transacción queda representada en un nuevo bloque.
3. Se comunica la transacción al resto de usuarios de la red.
4. Todos los nodos trabajan para validar o rechazar la transacción a través de uno de los algoritmos de consenso que existen. Todos los miembros deben participar.
5. Si la transacción es validada, se incluye en el bloque.

6. El bloque se añade al último bloque de la cadena. El siguiente bloque que sea añadido será enlazado criptográficamente a éste, repitiéndose el proceso.

En la Figura 2 se resume esquemáticamente el funcionamiento de una red blockchain.

1) Se inicia una transacción y se crea un nuevo bloque:



2) Los nodos trabajan empleando un algoritmo de consenso para aceptar o rechazar la transacción:

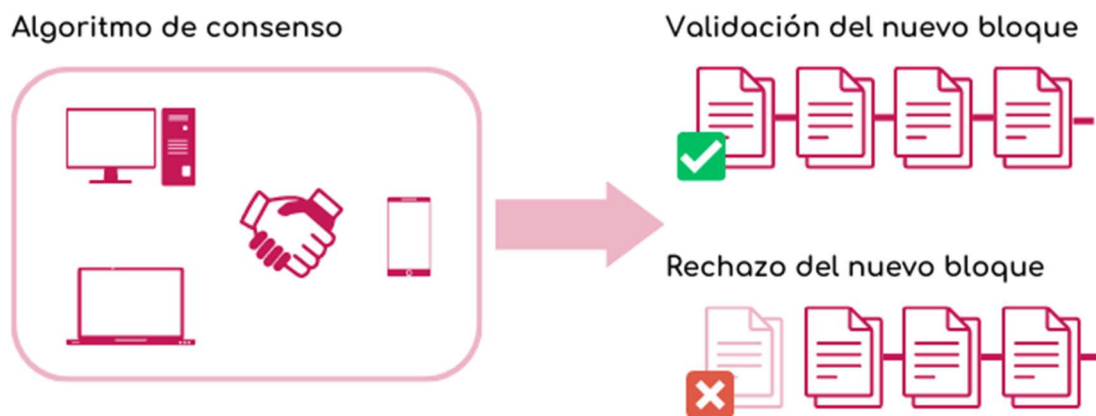


Figura 2. Esquema de funcionamiento de la blockchain.

Existen cuatro tipos de arquitecturas blockchain: públicas, privadas, autorizadas y de consorcio (*¿Qué es la tecnología Blockchain? - IBM Blockchain / IBM, s. f.*):

- En las blockchain públicas, cualquiera puede unirse y participar en la red y la información que hay en ella es accesible para todo el mundo, lo cual no quiere decir que la información privada sea visible para todo el mundo. Esto supone menos privacidad que otros tipos de redes blockchain, además de más capacidad computacional.
- En las blockchains privadas existe un administrador (que puede ser una persona o una organización administrativa) que decide quién puede unirse a la red y quién puede acceder a la información.
- Las blockchain autorizadas pueden ser públicas o privadas, y en ellas la participación presenta ciertas restricciones: los participantes requieren una invitación para unirse a la red.
- Por último, las blockchains de consorcio son un híbrido entre una blockchain pública y una privada, siendo apropiadas para blockchains de empresas (Geroni, 2023). En estas redes las responsabilidades administrativas se pueden compartir entre varias organizaciones.

Si buscamos un sistema descentralizado, es conveniente hablar de blockchains públicas.

Otro término que conviene conocer es el concepto de los contratos inteligentes o smart contracts. Un smart contract es, básicamente, un código de programación que se ejecuta de forma automática, descentralizada y transparente, a la hora de intercambiar activos en la blockchain. Cuando se cumplen una serie de condiciones acordadas por ambas partes en una transacción, el código se ejecuta de forma automática para completar el proceso, notificando a las partes interesadas. Por ejemplo, si alguien decidiera comprar una propiedad empleando una plataforma basada en blockchain, comprador y vendedor podrían establecer una serie de condiciones: pago por adelantado, fraccionado... Cuando lo establecido en esas condiciones se cumpliera, el smart contract se ejecutaría, traspasando la propiedad del vendedor al comprador, notificando al vendedor cuando esto sucediera (Blockchains, 2023). Cabe mencionar que no todos los algoritmos de consenso permiten el uso de smart contracts (Anwar, H., 2023a).

2.2.1. Las ventajas de la Blockchain

Aparte de proporcionar un modelo descentralizado y de las cuestiones técnicas y criptográficas antes mencionadas, la tecnología blockchain trae consigo una serie de beneficios socioeconómicos que no deben ser ignorados. Estas ventajas socioeconómicas son la soberanía y la identidad, la confianza, la transparencia y la procedencia, la inmutabilidad y la eliminación de intermediarios (Grech et al., 2017):

- **Soberanía e identidad:** hace referencia a la capacidad de los usuarios de decidir si dar acceso o no a sus datos personales a terceros. En el ámbito educativo esto implica que los estudiantes pudieran poseer, gestionar y compartir sus credenciales sin la necesidad de que exista una institución educativa. Gracias a los métodos criptográficos de la tecnología blockchain los usuarios pueden almacenar sus datos identitarios en su dispositivo y compartirlos para su validación sin necesidad de un sistema centralizado donde depositar esa información. Además, cada nueva entidad que se incorpora a la red es asignada una identidad única (Golosova, & Romanovs, 2018).
- **Confianza:** Como se ha comentado anteriormente, los métodos criptográficos empleados con la tecnología blockchain no permiten que los bloques de la cadena sean alterados tras su validación.
- **Transparencia y procedencia:** La cadena de bloques es un registro, un libro mayor en el que todas las transacciones realizadas en todo momento quedan reflejadas en ella. Además, al estar todos los bloques enlazados con el anterior de forma inalterada, se garantiza la trazabilidad de la información. En una blockchain pública cualquier persona puede verificar los datos escritos en ella (Iredale, 2023).
- **Inmutabilidad:** Este aspecto también ha sido comentado anteriormente. Alterar uno de los bloques alteraría el hash asociado a él y sería considerado inválido, así como todos los bloques que lo suceden.

- **Eliminación de intermediarios:** Al ser los miembros de la red blockchain los encargados de autenticar las transacciones y de validarlas o no, no son necesarias entidades intermedias. Esto, además, agiliza los procesos y reduce costes. El uso de tecnología blockchain puede reducir plazos de 3 días a minutos o incluso segundos (Golosova, & Romanovs, 2018).
- **Automatización de procesos:** cabe mencionar que el uso de los smart contracts antes mencionados permite la automatización de parte de los procesos. Al ser programas o partes de código que se ejecutan de forma automática al cumplirse ciertas condiciones, los procesos se automatizan y los registros en la cadena pueden realizarse de forma inmediata, agilizando aún más los procesos.

2.2.2. Las desventajas de la Blockchain

Tras ver los beneficios y ventajas del uso de la tecnología blockchain es pertinente conocer los problemas y desventajas que acarrea su uso. Algunos de ellos son el elevado coste de energía, la alta capacidad computacional requerida, o problemas relacionados con la vulnerabilidad de su seguridad e integridad (Golosova & Romanovs, 2018):

- **Coste energético:** mantener la cadena en tiempo real por parte de todos los nodos de la red requiere un alto costo energético. Realizar el ingente esfuerzo computacional que requieren los algoritmos de consenso y la resolución de los problemas matemáticos que se plantean en ellos requiere alimentar a todos los procesadores implicados con elevadas cantidades de energía. Si bien este consumo depende del algoritmo de consenso empleado por la red blockchain, algunos de estos algoritmos, como el comentado antes de proof of work son más demandantes que otros (Anwa, 2023a). Este coste energético supone un coste económico y medioambiental. En 2020, el coste energético de la red Bitcoin (que emplea algoritmos de consenso de tipo proof of work) llegó a los 75,4 TWh de consumo energético ese mismo año, una cifra comparable al consumo de algunos

países como Austria o Portugal. Su coste en CO2 se ha multiplicado por 126 en la corta vida de esta criptomoneda, llegando a suponer que el coste del daño medioambiental que supone la moneda excediera hasta un 156% su valor (Pérez, 2022). Es justo mencionar que no todos los algoritmos de consenso suponen el mismo coste energético, pues éste depende de la carga computacional que requiera el algoritmo. Algunos algoritmos de consenso, como el de Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT), ofrecen mejores resultados en cuanto a consumo energético y coste computacional (Anwar, H., 2023a). Sin entrar en detalle, existen una gran cantidad de propuestas de algoritmos de consenso, cada uno con sus beneficios e inconvenientes. Se trataría pues de encontrar un algoritmo lo más eficiente posible teniendo en cuenta esta problemática, optando por aquellos que supongan la menor huella de carbono posible.

- **Coste computacional:** está directamente relacionado con el anterior problema. A mayor nivel de carga computacional requerida por los algoritmos de consenso y criptográficos, mayor es la necesidad de poder computacional requerido por los nodos de la red. Este coste, como se ha mencionado en el anterior apartado, depende del algoritmo de consenso que se utilice, siendo menor para alguno de ellos.
- **Vulnerabilidad:** A pesar de las ventajas y seguridad que la tecnología blockchain ofrece, no está exenta de riesgos de vulnerabilidad. Algunos algoritmos de consenso reducen estos riesgos en mayor o menor medida (Anwa, 2023a) mientras que otros la probabilidad de que ocurran es prácticamente inexistente. Algunos de estas amenazas son el ataque del 51%, el doble-gasto, el ataque Sybil, ataques DDos o vulneración de los métodos criptográficos mediante algoritmos cuánticos.

2.3. Tokens no fungibles (NFT)

Antes de definir que es un token no fungible se debe entender a qué nos referimos con "token". Un token es un elemento al que se le asocia un valor determinado y que sirve para interactuar con otros productos. Un ejemplo de token clásico sería el de las fichas en las casas de apuestas o máquinas recreativas. En el contexto de la tecnología blockchain hablamos de cripto tokens, tokens digitales que representan distintos tipos de activos: divisas, propiedades, certificados... Una de sus principales características es que, o bien se crean inicialmente con un determinado y limitado número, o bien se crean de forma periódica, pero siendo transparentes a la hora de hacerlo, lo cual evita la posibilidad de que exista inflación. Puesto que los tokens representan activos, éstos tienen valor, y este valor sirve para realizar transacciones e intercambios. Se debe saber que existen varios estándares en la creación de tokens. Algunos de los estándares más comunes son el ERC-20 o el ERC-721, también conocido como el estándar de tokens no fungibles (Weston, 2022).

Un token no fungible, también denominado popularmente por sus siglas en inglés NFT (non fungible token), es un activo digital encriptado a través de tecnología blockchain (colaboradores de Wikipedia, 2023e). Estos tokens son únicos y distinguibles y por tanto no tiene sentido intercambiarlos por otros activos no fungibles.

Otros activos digitales encriptados en la blockchain, como podrían serlo las criptomonedas, pueden intercambiarse entre sí. Por ejemplo, alguien podría intercambiar 1 Bitcoin por otro Bitcoin y el resultado sería el mismo. Se dice entonces que son activos fungibles. Sin embargo, uno no puede intercambiar dos cuadros o dos obras de arte, puesto que cada una de ellas es única e intercambiable. Este es el concepto de los activos no fungibles.

Las principales características de los NFT son las siguientes (S, 2023):

- **Son digitales:** los NFT son activos digitales con certificado de autenticación a través de tecnología blockchain. Puede tratarse de una imagen, de música, un tweet, un vídeo...

- **Son únicos:** cada NFT es único e inmutable. Al estar encriptados mediante tecnología blockchain, duplicarlos o alterarlos no es posible.
- **Son cambiables:** a través de activos fungibles como criptomonedas, los NFT pueden pasar de un propietario a otro.
- **Son indivisibles:** un NFT no puede ser dividido en fragmentos más pequeños del mismo.

Una de las mayores ventajas de los NFT es que, al utilizar la tecnología blockchain, garantizan la propiedad de los mismos, ofreciendo seguridad y transparencia (S, 2023). Se puede pensar en diplomas o certificados convertidos en tokens digitales para garantizar su veracidad y evitar que sean falsificados y garantizar la propiedad del título. No obstante, a priori carece de sentido hablar de la posibilidad de comerciar con ellos, pues un certificado no puede ser transferido a otro usuario una vez obtenido. Se exploran posibles aplicaciones del uso de NFT en la educación en siguientes apartados de este trabajo.

No se puede concluir lo relativo a los NFT sin mencionar las desventajas y polémicas surgidas en torno a ellos. Los principales problemas de los NFT son aquellos relacionados con la propia tecnología blockchain que los sustenta, principalmente el alto consumo energético necesario para su funcionamiento. La mayoría de NFT emplean redes de blockchain de Ethereum, una red que emplea algoritmos de consenso de tipo proof of work, altamente exigentes energéticamente hablando (Yolanda et al., 2016). Tampoco se pueden ignorar las numerosas controversias que los NFT suscitan. Existen muchos detractores y escépticos que afirman que el uso de estos elementos no añade ningún tipo de valor no económico, y que fomenta el fraude y la especulación (Taherdoost, 2023).

En ciertos ámbitos, las ventajas del uso de NFT es, cuanto menos, difusa. Se pone como ejemplo una imagen digital convertida a NFT. Sólo una persona dispone de la titularidad de la obra, pero cualquiera podría copiar la imagen vinculada a dicho NFT. Esto es lo que popularmente se conoce como “mentalidad de clic derecho”. Otras problemáticas giran en torno a la ética y la propiedad intelectual de las piezas vinculadas al NFT.

Existe la posibilidad de que un usuario genere un NFT a partir de una obra que no le pertenece. Esto es lo que se conoce como “sleepminting”. Otros van más allá y sugieren que la estructura de mercado en torno a los NFT es similar a un sistema piramidal o sistema Ponzi. En palabras de Bill Gates, los NFT están “100% fundamentados en la teoría del tonto mayor” (colaboradores de Wikipedia, 2023e).

3. Estado del arte

Una vez los principios y tecnologías que caracterizan la Web 3.0 han quedado explicados de forma detallada pasamos a analizar cómo éstas se están aplicando en la actualidad en el ámbito educativo. Se analizarán una serie de propuestas actuales o recientes que introducen el uso de estas tecnologías en el ámbito de la educación.

Dada la falta de literatura sobre el tema, y siendo el desarrollo de estas tecnologías relativamente reciente, se contemplarán casos de aplicación orientados tanto a educación secundaria como a la educación superior. Se pretende en sucesivos apartados de este trabajo analizar si las aplicaciones para educación superior aquí descritas serían trasladables a la educación secundaria.

Para facilitar la lectura de este capítulo, éste se dividirá en secciones, cada una de ellas indicando la tecnología principal de la Web 3.0 que se aplica en cada caso de estudio.

3.1. Blockchain en educación

3.1.1. Blockchain en emisión de certificados académicos

Una de las aplicaciones más directas de la tecnología blockchain en el ámbito educativo es la de incorporarla como arquitectura para la emisión y validación de certificados académicos. Según Grech, A. y Camilleri, A. F. (2017) en su estudio sobre la blockchain en la educación realizado para la Comisión Europea, la tecnología blockchain es ideal para construir una infraestructura capaz de verificar, asegurar y compartir logros académicos. Para ello, se realiza una comparativa entre los métodos tradicionales de certificación con un modelo basado en blockchain.

En dicho estudio se enuncian, en un primer lugar, los usos y limitaciones de los certificados tradicionales. La principal función de los certificados académicos es la de evidenciar la educación del individuo: se reconoce que el estudiante ha completado una experiencia educativa, el total de aprendizaje obtenido en un área determinado, se especifican las unidades de aprendizaje realizadas (como créditos, asignaturas...), la adquisición de habilidades, la obtención de logros académicos, el nivel de estudios...

La potestad para emitir certificados y títulos académicos homologados corresponde al Estado, según se establece en el artículo 27.8 de la Constitución Española (Constitución Española, 1978) y en la legislación educativa vigente (Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre). Para el caso de centros privados y concertados en España, se debe obtener una autorización por parte del Ministerio de Educación que, a través de la legislación vigente, permita poner en funcionamiento un centro educativo capaz de otorgar certificados académicos a sus estudiantes (*Autorización de apertura y funcionamiento de Centros Privados*, s. f.). Se concluye así que, tanto para centros educativos que públicos como para centros educativos privados o concertados, la capacidad de expedición y homologación de títulos depende únicamente de las administraciones públicas.

Tal como se describe en el estudio de Grech, A. y Camilleri, A. F. (2017), existen muchas limitaciones en el sistema de certificaciones tradicional. Los certificados físicos en papel, si bien garantizan cierta seguridad, requieren llevar un registro de todos los certificados emitidos con el fin de evitar el fraude, y si se pierde ese registro, la capacidad de validación de dichos títulos se pierde. Son costosos de producir, además de requerir un elevado coste de recursos humanos. Por otra parte, si un tercero quisiera comprobar la validez de esos certificados, debería emplear tiempo y recursos para hacerlo manualmente.

Los certificados digitales no basados en tecnología blockchain tampoco están exentos de limitaciones. Grech, A. y Camilleri, A. F. (2017) reconocen que ofrecen ciertas ventajas con respecto a los certificados en papel: la veracidad de los certificados puede comprobarse

automáticamente, incluso por terceros, y son más barato de producir. Sin embargo, estos certificados pueden ser extremadamente sencillos de falsificar si no se usa ningún tipo de firma digital y, de usarse, requerirían involucrar a proveedores de certificados, que tendrían control sobre el proceso de certificación y validación. Se suman la ausencia de estándares de firmas digitales de muchos países o la facilidad de destruir un registro digital o la posibilidad de filtraciones a gran escala.

Como se ha visto anteriormente, la tecnología blockchain podría solventar las limitaciones de los certificados tradicionales. Esta cadena mantendría un registro de todos los certificados emitidos, incluyendo la entidad emisora del certificado y el receptor. Los bloques de una cadena no pueden duplicarse ni modificarse, siendo imposible la falsificación de los datos. Además, al no ser un sistema centralizado, no se puede destruir la información de forma sencilla. Cualquier persona con acceso a la blockchain podría consultar los datos en ella sin necesidad de intermediarios que garanticen la seguridad de la cadena: el hash de cada bloque no es más que un enlace al documento original, en propiedad de la persona a quien va dirigida el certificado, lo que garantiza la privacidad de cada usuario (Grech et al., 2017).

Open Blockchain es un grupo de estudio formado por investigadores de la Open University de Reino Unido, en asociación con el KMi, orientado al estudio de la tecnología blockchain y sus aplicaciones. Entre sus intereses podemos encontrar algunos relacionados con la aplicación de esta tecnología en el ámbito educativo y la descentralización de la educación (KMi, 2019). En España, la Conferencia de Rectores de Universidades Españolas (CRUE) realizó un informe en 2019 sobre el uso de la tecnología blockchain en el ámbito educativo (Gómez Ortega et al., 2019), en el que se analiza el estado de las universidades en cuanto la adopción de tecnología blockchain para emisión de certificados por parte de las universidades españolas y el contexto europeo, y otros propósitos, como financiación en investigación, publicaciones académicas, protección de datos o estandarización.

Una vez que los beneficios del uso de tecnología blockchain han sido expuestos nos podríamos preguntar si existen iniciativas en el uso de

blockchain para emisión de certificados académicos. Los siguientes casos son tan solo algunos ejemplos de aplicaciones e iniciativas en el uso de la tecnología blockchain en el ámbito de la educación y la emisión de certificados.

3.1.1.1. *Blockcerts*

Blockcerts es un estándar abierto para la creación de aplicaciones de emisión y verificación de registros oficiales basados en tecnología blockchain en diferentes ámbitos, entre ellos las credenciales académicas. Se trata de una serie de librerías, herramientas y aplicaciones móviles de código abierto que permiten construir sistemas de verificación descentralizados mediante tecnología blockchain (Blockcerts, s. f.-a). Su funcionamiento queda resumido en la Figura 3.

El diseño inicial de Blockcerts fue concebido en el seno del MIT Media Lab y por Learning Machine, actualmente Hyland Credentials, que es actualmente el único administrador del proyecto (Blockcerts, s. f.-b).

En 2020, la Universidad de Murcia crea un punto público de verificación de certificados académicos emitidos empleando tecnología blockchain que usa los estándares de Blockcerts (Universidad Digital, 2021). A través de esta iniciativa, el Centro de Certificación Profesional de la Información y la Comunicación de la Universidad de Murcia emitió los certificados para los asistentes a las Jornadas Crue-TIC 2021/2022 sobre tecnologías como IA, big data o la propia blockchain (*Certificados Blockchain Crue 27/10/2021 - ATICA*, s. f.).

1) La institución invita al estudiante a recibir una credencial en blockchain:



2) El estudiante acepta la invitación y envía a la institución su dirección blockchain:



3) La institución encripta la credencial en la blockchain:



4) La institución envía al estudiante una credencial blockchain:



5) El estudiante envía esta credencial a un verificador:



6) El verificador verifica el certificado en la blockchain:



Figura 3. Funcionamiento de Blockcerts.

3.1.1.2. Marco Europeo

EU Blockchain Observatory & Forum es una iniciativa de la Comisión Europea con el fin de acelerar y desarrollar entornos basados en tecnología blockchain dentro de la Unión Europea. Algunas de las misiones del EU Blockchain Observatory & Forum son las de monitorizar el desarrollo de programas basados en blockchain, analizar tendencias, identificar problemas, realizar mapas con proyectos clave basados en tecnología blockchain en Europa y otros lugares, hacer las veces de centro global de conocimiento, ser un foro de encuentro de expertos en la materia donde compartir opiniones y experiencia, hacer recomendaciones sobre como la Unión Europea podría fomentar la innovación en el ámbito de la tecnología blockchain... La iniciativa realiza mapas interactivos de proyectos basados en blockchain, realiza talleres, mantiene foros online y realiza informes al respecto (*EU Blockchain Observatory and Forum, 2023*).

En uno de los informes publicados por el EU Blockchain Observatory & Forum y escrito por Third et al. (2019), del Knowledge Media Institute of the Open University, se analizan los beneficios del uso de blockchain en el ámbito educativo. En este informe, además, se analiza la relevancia de esta tecnología dentro del contexto europeo. Dada la movilidad entre países que permite la Unión Europea, implantar un sistema común descentralizado, seguro y que facilite la verificación de los certificados académicos mediante tecnología blockchain podría aportar un gran beneficio. Aunque iniciativas como el plan Bolonia o plataformas como Europass fomentan esta movilidad, no garantizan la verificación de certificados ni aportan reconocimiento académico, ni suponen una descentralización de la educación.

El informe también identifica una serie de barreras a superar y riesgos a considerar para poder establecer un modelo de certificación académica a nivel europeo. Se mencionan barreras como la necesidad de gestionar debidamente al modelo que garantice una adecuada protección de los datos y privacidad, la necesidad de establecer estándares sin volver a los modelos centralizados o la necesidad de tener que pasar por un proceso de transición disruptivo con el modelo actual que requieran cambios organizativos, y riesgos como las posibles

consecuencias que pueda acarrear la descentralización del sistema educativo o los posibles riesgos técnicos que puedan surgir en el futuro, dada la corta edad de estas tecnologías y el posible desarrollo que puedan tener en el futuro.

Otra iniciativa de la Unión Europea al respecto de la tecnología blockchain es la European Blockchain Partnership (EBP). Mientras que el EU Blockchain Observatory & Forum tiene una función más pasiva y observacional, la EBP tiene un papel más activo: la iniciativa trata de desarrollar una estrategia para tecnologías blockchain en la Unión Europea y construir una infraestructura pública para la Unión Europea basada en blockchain. La iniciativa trata de colaborar con distintos países de la Unión para tratar de evitar que haya fragmentación en el panorama europeo en cuanto la tecnología blockchain: se trata de evitar que existan diferentes paradigmas y estándares dentro del marco europeo, tratando de ofrecer un entorno regulado en el que la Unión Europea establezca leyes y estructuras de gobierno adecuadas para ello. No sólo eso, sino que se pretende que, en el futuro, todos los servicios públicos en la Unión Europea, incluido, evidentemente, el sector educativo, funcionen en base a la tecnología blockchain para garantizar un funcionamiento más eficiente de estos, y que permitan ofrecer mejores servicios entre fronteras (*European Blockchain Partnership, 2023*).

Esta infraestructura pública de la Unión Europea desarrollada por la EBP es la European Blockchain Services Infrastructure (EBSI). La EBSI plantea diversos marcos de aplicación en diferentes ámbitos, entre ellos la verificación de credenciales educativas. En este modelo, los actores implicados en la red blockchain serían las administraciones públicas (como el Ministerio de Educación o las distintas comunidades autónomas según el modelo de competencias educativas vigente en España), que acreditarían la emisión de títulos a los centros, las universidades, que serían los emisores confiables de los certificados, los propios estudiantes y los agentes verificadores, como las empresas. Los estudiantes poseen un monedero con el que podrían gestionar sus identificadores digitales (DIDs), sus claves públicas y privadas, almacenar sus credenciales, solicitar credenciales, presentárselos a un verificador... Por otro lado, las administraciones públicas dispondrían de un monedero con el que

gestionar las acreditaciones de los emisores confiables y registrarlos en la blockchain de la EBSI (*What is EBSI - EBSI -*, s. f.).

En su canal de YouTube, la EBSI publicó un vídeo ilustrando el proceso y las ventajas de la iniciativa desarrollada en el campo de la educación:



Vídeo 1. Uso de la EBSI en educación (European Blockchain Service Infrastructure (EBSI), 2019).

Los estándares empleados para el diseño de esta red serían los estándares del W3C y OpenID que cumple la normativa vigente de la Unión Europea y su funcionamiento es similar al descrito en anteriores secciones (*EBSI Verifiable Credentials Playbook - EBSI Specifications -*, s. f.).

3.1.1.3. Instituciones que emiten certificados académicos basados en tecnología blockchain

Como se ha comentado en una anterior sección, desde la Universidad de Murcia ya se han emitido títulos académicos mediante tecnología blockchain (*Certificados Blockchain Crue 27/10/2021 - ATICA*,

s. f.). Este no es el único ni el primer ejemplo de instituciones educativas que emiten títulos empleando esta tecnología.

La Universidad de Nicosia se enorgullece de ser la primera universidad del mundo en expedir certificados académicos digitales a través de tecnología blockchain, a través de la red de Bitcoin. El primer certificado empleando tecnología blockchain fue emitido por esta universidad en 2017. El procedimiento de emisión es similar a como se ha visto en anteriores secciones: el documento en PDF con los correspondientes datos se firma con una clave privada a la que sólo la universidad tiene acceso, se encripta el documento y finalmente se registra en la blockchain mediante la clave, dejando constancia de que dicho documento se emitió al estudiante en la fecha determinada (Nayia, 2018).

En España, además de la Universidad de Murcia, existen varias universidades que emiten títulos académicos basándose en tecnología blockchain. Algunos ejemplos son la Universidad Carlos III de Madrid, que emite certificados académicos a través de la empresa emergente española SmartDegrees (Smartdegrees, s. f.) o la Universidad Internacional de la Rioja (UNIR), que ha patentado un sistema de emisión y validación de certificados basado en tecnología blockchain (Unir, s. f.).

3.1.2. Insignias Inteligentes en la Blockchain

La Open University antes mencionada, propone un modelo de certificación algo diferente a los vistos en la anterior sección, consistente en un modelo de insignias o medallas (en inglés badges) orientados al aprendizaje permanente y basado en un modelo ya existente conocido como Open Badges (Mikroyannidis et al., 2020-a). Open Badges es un estándar de credenciales digitales verificables que pueden ser emitidas por diferentes tipos de instituciones para reconocer aprendizajes, habilidades u otros logros (*Issue / IMS Open Badges*, s. f.).

Cada insignia Open Badge contiene una imagen distintiva e información sobre el emisor, el receptor, o cualquier otra información

relevante (Build | IMS Open Badges, s. f.). Esta insignia puede ser almacenada y publicada en una plataforma anfitriona a la que se conoce como backpack o mochila (Mikroyannidis et al., 2020-a).

El funcionamiento de Open Badges es similar al funcionamiento de una red blockchain. El emisor, en este caso una institución académica, crea un tipo de insignia basada en el estándar de Open Badges. Cuando alguien completa un curso o completa una prueba o logro medecedora de una insignia, esta es enviada al receptor, que puede almacenarse y gestionarse en la plataforma anfitriona o mochila. Esa insignia puede mostrarse a terceros, que pueden verificar su autenticidad para certificar la validez de la insignia. Esta verificación difiere del modelo blockchain, pues se realiza a través de dos métodos diferentes, verificándose los metadatos contenidos en la insignia, el emisor y el receptor (Build | IMS Open Badges, s. f.).

Este modelo es tomado como base para la propuesta de Mikroyannidis et al. (2020-a), que está enmarcado dentro del proyecto QualiChain, un proyecto financiado por la Unión Europea orientado a la creación, orientación y evaluación de una plataforma descentralizada de verificación de credenciales académicos y laborales basada en tecnología blockchain, centrada en ámbitos educativos, laborales y de sector público. Propone soluciones a través de cuatro escenarios representativos: el aprendizaje permanente, diseño de currículos inteligentes, empleabilidad en el sector público y servicios de reclutamiento y de gestión de competencias (KMi, 2021-a).

Mikroyannidis et al. (2020-a) implementan un sistema de insignias llamado Smart Badges basado en tecnología blockchain, concretamente basándose en los Smart Contracts de la red blockchain Ethereum. Este sistema permite a la entidad emisora gestionar las insignias que ofrece, llevar un registro de las insignias emitidas o gestionar los grupos de estudiantes a través de la página web de la plataforma QualiChain.

El proyecto, como se ha indicado, está orientado al aprendizaje permanente. Esto quiere decir que no se limita al aprendizaje en las aulas o en una institución de forma tradicional, sino que va más allá, alargándose el proceso de continuo aprendizaje permanente y la etapa

laboral, a través de cursos de formación online como los MOOC (Massive Open Online Courses) o OER (Open Educational Resources). Las Smart Badges no se limitan a certificar los diferentes cursos o logros académicos, sino que, en base a la información contenida en las insignias y los intereses del estudiante, el sistema puede recomendar ofertas de trabajo que se alineen con los intereses del usuario de forma inteligente.

El proyecto propuesto se implementó en un proyecto piloto durante unos talleres online realizados por la Open University en abril de 2020, durante la pandemia de COVID-19. Los participantes se registraron en la plataforma y recibieron una Smart Badge por su asistencia. Tras contestar a un formulario, los asistentes admitieron el potencial del uso de Smart Badges aunque también pedían más claridad sobre la introducción de la tecnología blockchain en la educación y de la plataforma QualiChain (Mikroyannidis et al., 2020-a).

Cabe mencionar aquí las similitudes entre la propuesta de Open Badges y el planteamiento de la Unión Europea con respecto a las microcredenciales (*Un enfoque europeo de las microcredenciales*, s. f.). El concepto de las microcredenciales es similar al de las Open Badges. Se trata de acreditar el aprendizaje permanente en etapas superiores y de garantizar que las personas adquieran las competencias y conocimientos necesarios a lo largo de su vida profesional. Hablamos de un tipo de educación con formas más cortas y flexibles que la educación más tradicional, orientado al mercado laboral, para el cual la Unión Europea pretende ya ofrecer un marco común. La introducción de la tecnología blockchain, la blockchain semántica (que usa la propuesta de Open Badges) o la IA podrían combinarse con esta propuesta para ofrecer las funcionalidades de las insignias inteligentes, como su uso para sugerir empleos personalizados o búsqueda de empleos relacionados con las acreditaciones adquiridas.

3.1.3. Exámenes empleando smart contracts

Las anteriores propuestas de uso de tecnología blockchain en el ámbito educativo se centran, sobre todo, en los aspectos administrativos de la educación. Aunque se trata de la aplicación más directa de esta tecnología dada su principal uso como libro de cuentas mayor o registro, existen propuestas más orientadas a los aspectos pedagógicos de la educación, como su aplicación para la elaboración de exámenes.

Ramos-Sosa, M. D. P et al. (2020) proponen facilitar la evaluación de los alumnos a través de la aplicación de los smart contracts para preparar exámenes de tipo test de forma automática. El modelo propuesto consiste en la creación por parte de los profesores de una batería de preguntas incluidas en una cadena de bloques llamada "BC-question". Esta blockchain contiene toda la información respecto a las preguntas de examen que se encuentran en ella, como las respuestas correctas o la dificultad de las preguntas.

Una vez la cadena de BC-question es creada los profesores pueden personalizar los exámenes en función del número de preguntas o la dificultad a través del uso de smart contracts. Estos smart contracts le permitirían al profesor ahorrar tiempo y crear exámenes de la forma deseada (el mismo examen para todo el grupo, diferente examen para cada alumno, etc).

Tras la realización del examen la información contenida en el examen completado por el alumno se almacena en otra cadena llamada "BC-evaluation" por medio de un smart contract, que también asignará la puntuación del examen al alumno. Cabe mencionar que estos smart contracts incluyen los acuerdos acordados tanto a nivel de aula, que dependen del nivel de desempeño del alumno durante el curso y los exámenes, y los acuerdos a nivel de institución, es decir, aquellos que se establecen para que el alumno adquiera el título correspondiente en base las competencias y niveles de conocimiento necesarios para ello.

En el modelo de Ramos-Sosa, M. D. P et al. (2020), una vez los alumnos han conseguido superar el curso en cuestión, se pueden almacenar las credenciales que lo acreditan en un monedero virtual.

3.1.4. Otras aplicaciones de blockchain en educación

Además de las propuestas analizadas en anteriores secciones existen otras múltiples aplicaciones del uso de la tecnología blockchain en el ámbito educativo. En abril de 2022 se presentó un artículo para la *European Journal of Education* que aborda algunas de las aplicaciones de la tecnología blockchain en la educación, entre ellas las antes mencionadas (Panagiotidis, 2022).

Una de las aplicaciones de la tecnología blockchain recogidas en el trabajo de Panagiotidis (2022) es la de su aplicación para garantizar mejores niveles de seguridad y transparencia en la gestión educativa. Se trata de implementar esta tecnología para guardar registros e identidades académicas, gestionar los datos de los estudiantes en general, crear marcos seguros en sistemas de gestión de aprendizaje (LMS) y entornos de aprendizaje, asegurar la validación de evaluaciones y exámenes...

Otras aplicaciones se orientan a la protección de derechos de autor de material académico, implementación en plataformas educativas, sistemas orientados al seguimiento del desempeño académico y competencial de los alumnos, o incluso sistemas de recompensas al rendimiento basados en criptomonedas con las que poder matricularse en otros cursos o cambiarse por dinero de curso legal.

Panagiotidis (2022) en su trabajo destaca la aplicación de tecnología blockchain en el aprendizaje de idiomas. Respecto a esta cuestión, el autor asegura que la tecnología blockchain es idónea para su aplicación en el aprendizaje de idiomas, siendo útil para poder crear una identidad de conocimiento de idiomas digital personal, diseñar de pruebas de evaluación personalizadas, controlar el progreso de aprendizaje de idiomas, o el diseño de cursos y sistemas de evaluación. Finalmente, el autor expone una serie de casos reales y propuestas orientados a estas aplicaciones que fueron realizados entre 2019 y 2022.

3.2. NFT en educación

3.2.1. Certificados NFT: NFTCert

La línea que divide la tecnología blockchain y los NFT es algo difusa en ciertos casos, dado, sobre todo, a que los segundos se basan en el uso de la tecnología blockchain. En el caso de los certificados emitidos mediante tecnología blockchain puede existir cierta ambigüedad o estar sujeto a la libre interpretación de cada uno. Tanto un certificado como un NFT son elementos digitales únicos, irreproducibles e imposibles de duplicar, ninguno de ellos puede intercambiarse por otros equivalentes y, obviamente, las transacciones que implican a ambos quedan registradas y encriptadas en una cadena de bloques, estando asociados a datos o un documento único. También se incluyen en esta comparación proyectos análogos a los certificados digitales basados en tecnología blockchain como pudieran serlo las SmartBadges mencionadas anteriormente.

Sin embargo, y aunque un NFT no puede ser intercambiado por otro NFT equivalente, se entiende que los NFT pueden intercambiarse mediante otros activos que sí sean fungibles, como las criptomonedas. Los certificados académicos son, por el contrario, intransferibles, salvo para ser emitidos al estudiante en caso de obtenerlos. A partir de ese momento un certificado no puede traspasarse a otro propietario. La pertenencia de un certificado académico acredita que el estudiante ha obtenido una serie de conocimientos o competencias, y no se pueden traspasar de un usuario a otro a través de un traspaso de dicho certificado.

Sí existen propuestas de sistemas de certificados académicos que realizan esa comparación o distinción entre tecnología y blockchain. En su artículo, Zhao y Si (2021) proponen un sistema de certificados digitales basado en el concepto de NFT llamado NFTCert. En dicho trabajo se realiza una comparación entre varios sistemas de certificación basados en blockchain (entre ellos se encuentra BlockCerts mencionado en anteriores secciones de este trabajo) y el sistema propuesto basado en NFT. La comparación completa puede verse en la siguiente tabla:

Propuesta	1	2	3	4	5	6	7
BlockCerts	✓	X	✓	✓	X	X	X
EduCTX	X	X	X	✓	✓	X	X
BCDiploma	✓	X	X	✓	X	X	X
Blockchain for Ed.	✓	✓	X	✓	X	X	X
UZHBC	X	X	X	✓	X	X	X
NFTCert	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 1. Comparación entre NFTCerts y otras propuestas basadas en blockchain, extraído del trabajo de Zhao y Si (2021). Leyenda: 1: Soporte para cualquier tipo de certificado; 2: Insituciones acreditadas; 3: Anulación de certificados; 4: Privacidad de información personal; 5: Criptodivisas no involucradas; 6: La información verificable de los certificados está almacenada únicamente en la blockchain; 7: Los certificados son almacenados en un único monedero digital; ✓: Considerado; X: No considerado.

Zhao y Si (2021) en su propuesta tienen en consideración cierta problemática asociada a los NFT comentada anteriormente, como la implicación de criptomonedas en sus transacciones. Por lo general, las criptomonedas suelen tener una alta volatilidad, además de traer consigo ciertas connotaciones negativas debido a que a veces estén asociadas con ciertas prácticas ilegales, como la compraventa de productos ilegales o el blanque de dinero. Es por ello por lo que los autores proponen reducir la dependencia de criptomonedas en el ámbito de la emisión de títulos académicos basados en NFT a través de portales de pago online ampliamente reconocidos y confiables, como podrían ser PayPal, Alipay o WechatPlay. Además, los alumnos no necesitan almacenar los certificados NFT por sí mismos, y tan sólo necesitan la dirección a su monedero digital de NFT.

En cuanto al funcionamiento de NFTCerts, difiere ligeramente de otros modelos basados en tecnología blockchain, y sigue los siguientes pasos:

1. La institución educativa acuña el certificado NFT y espera a que el estudiante abone el pago.
2. A través de Blockchain Oracle, un servicio que permite conectar los smart contracts con datos fuera de la blockchain, inicia una petición a la plataforma de pago online para generar una solicitud de pago pendiente.
3. Cuando los estudiantes reciben esa solicitud de pago, éstos pueden tramitarla a través de uno de los portales de pago mencionados anteriormente.
4. La confirmación del pago se envía al smart contract por medio de Oracle.
5. Cuando el pago se ha realizado con éxito, el smart contract envía el certificado NFT acuñado al monedero virtual del estudiante.
6. Los estudiantes pueden compartir la dirección de sus monederos digitales con la entidad o institución que pudiera requerir ver esos certificados.
7. Las universidades o compañías conectadas a la red blockchain privada pueden acceder a todos los certificados NFT almacenados.

NFTCerts es una propuesta para un sistema de certificados confiable, transparente, verificable y descentralizado que permitiría a los alumnos almacenar todos sus certificados académicos en un mismo lugar, y las entidades que requirieran verificar el expediente académico del estudiante tan sólo tendría que comprobar su monedero digital, que contiene la dirección al NFT almacenado en los servidores de la institución que lo expidió.

3.2.2. Gamificación mediante recompensas NFT

Otras propuestas sobre usos de NFT en la educación se orientan más hacia un uso como recurso pedagógico con el fin de aumentar la motivación de los estudiantes y e incentivar sus estudios a través de procesos gamificados. Este es el caso de la propuesta de Elmessiry et al. (2021).

En esta propuesta orientada a la educación online, los autores tratan de explorar los usos de estas nuevas tecnologías en el ámbito educativo, tras haber quedado patentes las carencias del sistema actual o tradicional durante el período de confinamiento en la pandemia de COVID-19. Este modelo propuesto trata de incentivar la participación de forma positiva tanto de estudiantes como de profesores, a través del uso gamificado de NFT.

En primer lugar, Elmessiry et al. (2021) exponen los beneficios del refuerzo positivo y la gamificación en la educación, pilares sobre los que basan su modelo. En él se implementan recompensas basadas en NFT.

En una primera instancia, se asigna un monedero digital a la institución educativa para que sea capaz de acuñar y emitir las diferentes recompensas NFT. Estas recompensas son limitadas y no podrían cambiarse una vez hayan sido acuñadas. De forma periódica, un determinado número finito de estas recompensas serían transferidas a los monederos digitales de los profesores, siendo estos los únicos que podrían ahora recompensar a otros con estas recompensas. En función del desempeño académico, el profesor puede transferir esas recompensas a los alumnos, que las guardarían en un monedero digital personal, no limitado a la institución educativa.

Las conclusiones y resultados obtenidos por los autores revelan que tanto alumnos como profesores muestran interés por el sistema. Mientras que los profesores se centran en aspectos como los criterios de recompensa, los estudiantes se centran en cómo intercambiarse recompensas entre ellos. Puesto que el hecho de obtener estas recompensas por sí mismas no ofrece ningún tipo de beneficio adicional, los autores proponen asociar esas recompensas NFT a descuentos monetarios, que podrían ir desde descuentos en tiendas locales, cine, ocio, transporte público, etc.

4. Una educación descentralizada: Propuestas

En los anteriores capítulos de este trabajo se han visto, en un primer lugar, cuáles son las tecnologías de la Web 3.0 asociadas a la descentralización, y se ha realizado una introducción con mayor detalle de estas. En un segundo lugar, se ha analizado la aplicación real de estas tecnologías en la educación y algunas de las tendencias al respecto.

Como se puede comprobar, la mayoría de las aplicaciones de las tecnologías Web 3.0, en concreto la blockchain, se centran en crear sistemas de certificación académica empleando redes de blockchain, lo cual ofrece un sistema de acreditación confiable, verificable, transparente y seguro, además de abaratar costes, agilizar y automatizar procesos burocráticos.

Otro de los aspectos comunes de las aplicaciones y tendencias analizadas es que se orientan, sobre todo, a educación superior, fundamentalmente a educación universitaria o a cursos de formación, bien sean talleres o cursos online (MOOC). La bibliografía referente a la aplicación de la tecnología blockchain en educación secundaria (o al equivalente según la regulación en cada país) es escasa si o prácticamente inexistente.

A lo largo de este capítulo se pretenden realizar varias propuestas de aplicación de tecnologías Web 3.0 en el contexto de la Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, concretamente aplicaciones de tecnologías blockchain y NFT, con el fin de mejorar el sistema educativo o partes de él a través de modelos descentralizadores, siempre y cuando éstos puedan aportar beneficios u ofrecer ventajas respecto al modelo vigente. La introducción de estas tecnologías o procesos tan complejos como la descentralización deben hacerse de forma progresiva y, a veces, podrían llevar años, por lo que se pretende que estas propuestas se

ajusten en la medida de lo posible a la legislación o regulación vigente, evitando hacer propuestas demasiado disruptivas.

4.1. Un pasaporte educativo descentralizado para la UE

Cabe preguntarse qué grado de descentralización del sistema educativo se está buscando, en qué ámbitos y para qué. Los sistemas de certificados basados en tecnología blockchain ofrecen un nivel de descentralización en cuanto a cómo se mantiene el registro de certificados académicos. En vez de que cada centro o institución lleve un registro centralizado de todos los títulos emitidos, la tecnología blockchain crea una red segura y descentralizada, que no depende únicamente de los registros o servidores de la correspondiente institución, sino que está distribuida entre todos los miembros pertenecientes a la red. Los beneficios de esta descentralización son ya se han comentado: aumentar los niveles de seguridad, transparencia, facilitar la verificabilidad de los títulos, etc.

Algunos autores (Mikroyannidis et al., 2020-b) van más allá, proponiendo un sistema descentralizado orientado a la educación a lo largo de la vida y aprendizaje permanente, en el que no solamente se propone un sistema descentralizado de emisión de certificados basado en blockchain, sino que el modelo depende menos de las instituciones y se centra más en los miembros que conforman el sistema de enseñanza-aprendizaje, es decir, de los estudiantes y los profesores o tutores. En el modelo propuesto, cada estudiante tiene un pasaporte académico digital propio, en el que poder almacenar y mostrar los certificados académicos obtenidos, incluidas las insignias inteligentes como las Smart Badges mencionadas anteriormente (Mikroyannidis et al., 2020-a), mostrar los cursos realizados, incluir un portfolio con proyectos o trabajos propios... Además, el uso de Smart Badges permite ofrecer a cada estudiante recomendaciones personalizadas de empleo y otros cursos en base a su perfil. Este pasaporte académico funcionaría gracias a la tecnología blockchain y a otra de las tecnologías asociadas a la Web 3.0: la Web Semántica. De esta forma, se pretende definir un modelo en el que los

estudiantes pueden acceder y realizar cursos online, buscar grupos de trabajo o tutores, convertirse en mentores de otros, o incluso crear nuevos cursos con los que obtener un beneficio económico. Se pasa de un sistema centralizado en instituciones que ofrecen cursos de forma tradicional, a otro en el que se crea una especie de red colaborativa, donde las instituciones pasan a un segundo plano, y cada estudiante tiene más control sobre lo que estudia.

Como se ha dicho, este modelo, así como los otros referenciados en el anterior capítulo, se plantean para educación superior o, más concretamente para el modelo de Mikroyannidis et al. (2020-b), para el aprendizaje permanente. Es decir, se orienta principalmente a una formación de cara al mercado laboral, aspecto que resulta remarcado con el planteamiento de uso de las Smart Badges, que permiten ofrecer recomendaciones laborales, o con la posibilidad de incluir un porfolio en el pasaporte educativo o de formar grupos de trabajo.

Podríamos pensar en trasladar este modelo a la educación secundaria. Para ello, en primer lugar, tendríamos que identificar a cada uno de los actores del modelo y buscar su análogo en el ámbito de la educación secundaria. Las instituciones académicas y los estudiantes tienen su equivalente obvio: los centros de educación secundaria y bachillerato, que ofrecen la formación, y los estudiantes, que la reciben. Los verificadores, en el modelo propuesto para la educación a lo largo de la vida o aprendizaje permanente son, principalmente, las empresas o reclutadores, que deben comprobar las acreditaciones académicas de los estudiantes. El equivalente a esto en el ámbito de la educación secundaria es algo más difícil de establecer. Los títulos de secundaria y bachillerato no están orientados tanto a la búsqueda de empleo como al acceso a la educación superior o formativa (FP). Podríamos considerar así que los verificadores en el modelo serían las universidades, los centros de formación profesional u otras instituciones de educación superiores. Estas instituciones podrían comprobar los títulos obtenidos por los estudiantes a través de una red blockchain, lo cual agilizaría los procesos burocráticos como matriculaciones, dificultaría las falsificaciones, o incluso, basándonos en la propuesta de EBSI (*What is EBSI - EBSI* -, s. f.) y en su vídeo demostrativo (European Blockchain Service Infrastructure (EBSI)).

2019), podría servir para facilitar los procesos de estudios entre aquellos países adscritos a la red blockchain del modelo, es decir, los países miembros de la Unión Europea. De esta forma, todo el proceso de traspaso de expediente debido a estudiar en el extranjero bien sea por un año o por un cambio de residencia, podría agilizarse mediante un modelo basado en blockchain.

Por poner un ejemplo, actualmente para reconocer un título de educación no universitario emitido en el extranjero, existe un proceso burocrático de homologación que cumplimentar para poder reconocer esos títulos (Educación Secundaria - ESO y Bachiller., s. f.). Suponiendo una serie de convenios o equivalencia de los títulos en el país de origen y los españoles, en un modelo basado en blockchain, el estudiante extranjero podría solicitar matricularse en una universidad española compartiendo la dirección de su título en la blockchain. La universidad tan sólo tendría que verificar la validez de su título en la blockchain para continuar con el proceso de matrícula.

Una vez establecidos los actores del modelo y sus funciones, vamos a ver qué aspectos del modelo de Mikroyannidis et al. (2020-a) pueden ser trasladables a una educación secundaria. Podríamos pensar que, en el caso de la educación secundaria y bachillerato, el número de certificados académicos es más limitado: el de ESO y el de Bachillerato o, a lo sumo, otros títulos de equivalencia académica como podrían ser los de formación profesional básica o formación profesional media, para cada una de las diferentes titulaciones. Aún así, podemos considerar el potencial de las insignias inteligentes e incluirlas en el modelo propuesto. Por ejemplo, podrían servir como certificado por haber cursado ciertos niveles o alcanzado determinados hitos en formación complementaria, como podrían ser el estudio de idiomas (Escuela Oficial de Idiomas), estudios musicales (conservatorio), cursos extraescolares (robótica, teatro...) o la obtención de ciertos logros u honores, como premios extraordinarios, concursos, haber sido capitán en equipaciones deportivas del instituto, haber sido delegado... Al llegar a la universidad o a la formación superior, estas insignias podrían servir, siguiendo el modelo de las Smart Badges de Mikroyannidis et al. (2020-a), para sugerir actividades o cursos extracurriculares en los que el alumno pueda estar

interesado, como talleres, equipos deportivos de la institución, conferencias, etc.

Pongamos un ejemplo: una alumna, al finalizar Bachillerato, tiene en su pasaporte académico sus títulos de ESO y Bachillerato. Además, a lo largo de sus estudios, ha ido acumulando una serie de insignias inteligentes y otros certificados complementarios que acreditan haber cursado diferentes cursos o talleres complementarios. Estos certificados complementarios o insignias inteligentes, para esta alumna, son por alcanzar un cierto nivel de inglés en la Escuela Oficial de Idiomas y por haber alcanzado cierto grado en el conservatorio. Además, también ha adquirido varias insignias inteligentes por haber cursado varios años unos talleres extraescolares de robótica y de teatro, y por haber sido capitana en el equipo de baloncesto del instituto. En la Figura 4 se muestra una propuesta del aspecto que este pasaporte podría tener, empleando una app para smartphones.

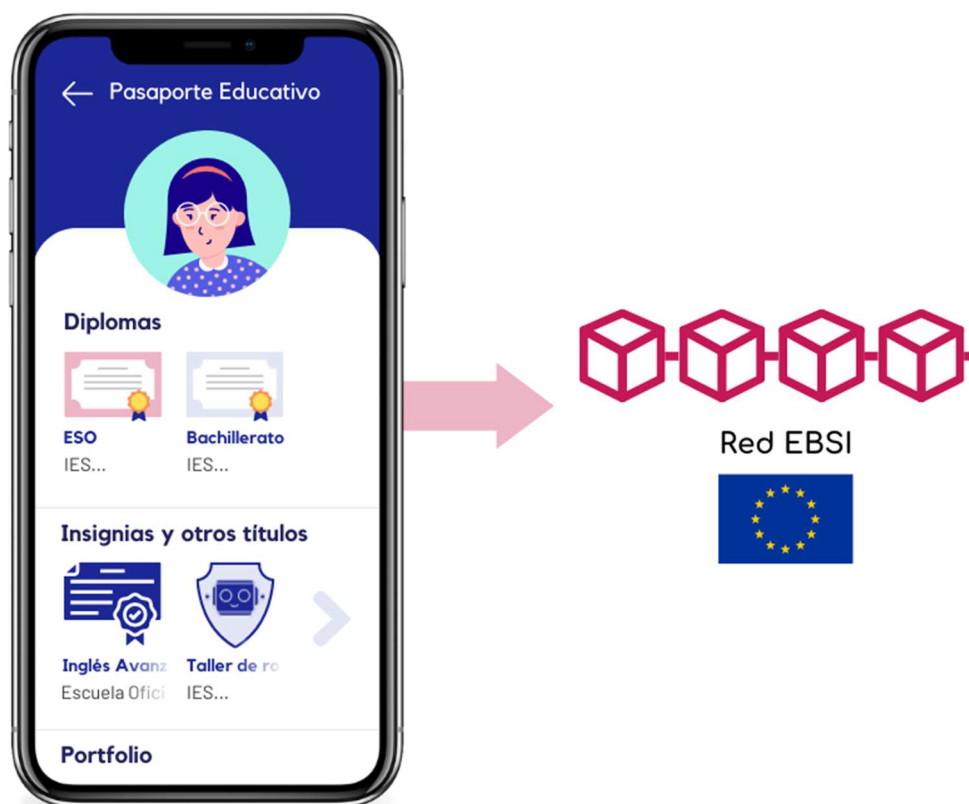


Figura 4. Propuesta para un modelo de pasaporte educativo basado en blockchain desde Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato.

Al elegir universidad, la alumna puede iniciar el proceso de matrícula compartiendo la dirección a su certificado de Bachillerato, pudiendo la universidad correspondiente validar fácilmente la validez de esos certificados al emplearse la tecnología blockchain. Además, una vez matriculada en la universidad, las insignias inteligentes podrían sugerirle recomendaciones de talleres, actividades o conferencias relacionadas. Por ejemplo, si la alumna se ha matriculado en la Universidad de Valladolid y basándose en las Insignias inteligentes de su perfil, se le harían recomendaciones o se le compartiría información sobre la Joven Orquesta de la Universidad de Valladolid (JOUVa), o sobre asociaciones como la Asociación de Microbótica de la Universidad de Valladolid (AMUVa), talleres de teatro, o conferencias relacionadas. Además, podría continuar sus estudios de inglés en el Centro de Idiomas de la Universidad o acceder a planes de movilidad como el programa Erasmus gracias a las insignias inteligentes obtenidas.

Gracias a que esos certificados e insignias se encuentran registradas en una red blockchain los trámites necesarios para realizar todas esas operaciones se agilizarían. Además, estarían encriptadas de forma segura, privada y transparente, dándole el control total de esos datos a los alumnos, que podrían decidir qué datos compartir con los verificadores. En el ejemplo mencionado, también podría suceder que la alumna pudiera querer estudiar en una universidad de otro país miembro de la Unión Europea adscrito a esa red común blockchain de EBSI, lo cual simplificaría los procesos burocráticos necesarios.

Otro aspecto de la propuesta de Mikroyannidis et al. (2020-b) que aún no hemos trasladado a la propuesta planteada para la educación secundaria es el de los portafolios y los grupos de trabajo. Aunque a priori pueda parecer que, debido a la edad de los estudiantes o los niveles educativos en los que nos movemos, es un aspecto irrelevante para mostrar en un pasaporte académico, el aprendizaje basado en proyectos ofrece resultados educativos muy positivos y ha demostrado su gran eficacia (Sánchez, J., 2013) y que, con los años, está cobrando más relevancia en los centros de enseñanza secundaria. Es por ello por lo que la existencia de un portafolio académico en el pasaporte pueda ser

trasladable a estos niveles, y pueda servir como herramienta o recurso para los alumnos, fomentando el aprendizaje colaborativo y entre iguales.

La propuesta de un pasaporte educativo basado en tecnología blockchain es, por tanto, trasladable a los niveles de educación secundaria y bachillerato. De esta forma, el foco se centra en el alumno, en su perfil académico conformado por certificados obtenidos en distintas instituciones y registrados en una red blockchain a nivel europeo. Los certificados son así verificables en una red descentralizada, lo que permite una fácil verificación, transparencia, seguridad y control de los datos por parte del estudiante.

Se debe añadir, que este pasaporte académico no tiene por qué ser distinto al que plantea Mikroyannidis et al. (2020-b) en su trabajo. Según el estudiante progrese en sus estudios y alcance nuevas etapas del proceso de formación, este pasaporte irá evolucionando y acompañando al alumno, desde la educación secundaria hasta convertirse en un pasaporte orientado a la educación a lo largo de la vida o aprendizaje permanente y a la búsqueda de ofertas de trabajo como nos propone el autor, incluyendo la etapa universitaria, de formación profesional o cualquier otro tipo de educación superior que realice el alumno.

4.2. Una prueba de acceso a la universidad digitalizada y basada en blockchain

Las pruebas de acceso a la universidad, así como otras pruebas de acceso o pruebas de nivel (acceso a FP, pruebas de nivel de idiomas...) son consideradas un hito importante durante el proceso educativo, no solamente por la preparación previa que estas pruebas suponen para los estudiantes sino también por el impacto y las consecuencias de superar o no esas pruebas, en algunos casos pudiendo determinar la carrera que el alumno puede o no puede estudiar. Es lógico pensar que una prueba de estas características deba tener un sistema de seguridad fiable y

transparente para que el proceso de examinación sea confiable y no puedan cometerse errores en las entregas, reemplazos o plagios.

En junio de 2023, a menos de un mes de que se escriba este trabajo, tras la realización de las pruebas de acceso a la universidad en Córdoba, se perdieron accidentalmente un total de 38 exámenes de la asignatura de Griego y 34 de la asignatura de Matemáticas Aplicadas a las Ciencias Sociales. El incidente tuvo como consecuencia que a los estudiantes se les avisara con apenas 24 horas de antelación de una repetición de las pruebas (Nebrá, O., 2023). Este es un claro ejemplo del problema de la centralización de los datos. Al encontrarse toda la información físicamente en un mismo lugar, si algo le ocurriera de forma accidental, como es el caso, toda esa información se pierde o su integridad puede quedar comprometida.

Para esta propuesta se analiza la posibilidad de implementar un sistema de digitalización de exámenes basado en tecnología blockchain para aumentar los niveles de seguridad y de transparencia en estas pruebas de acceso, concretamente, para las pruebas de acceso a la universidad. La poca bibliografía existente sobre la aplicación de redes blockchain hace, sobre todo, referencia a exámenes realizados de forma online. Tomaremos como referencia alguno de ellos, y se tratarán de adaptar para un modelo como el de las pruebas de acceso a la universidad.

Ya se ha mencionado antes la aplicación de los smart contracts para la elaboración de exámenes de tipo test (Ramos-Sosa, M. D. P et al., 2020). Por otra parte, Zhu, X. y Cao, C. (2021) proponen un modelo de seguridad para exámenes online basado en verificación biométrica en un marco basado en blockchain, y uno de los beneficios que aporta es precisamente el de guardar evidencias de los datos subidos y de asegurar la verificación de ellos y evitar ataques, aumentando la seguridad. Para ello, y en el caso de las pruebas de acceso a la universidad que, por lo general, se realizan de forma tradicional a lápiz y papel, por lo que se debe establecer un proceso de digitalización de los exámenes mediante un escaneado de los mismos como otros similares que ya existen actualmente

(De Servicios Informáticos De La Universidad Nacional De Educación A Distancia, C., s. f.).

El funcionamiento del modelo propuesto quedaría de la siguiente manera, siguiendo las fases descritas a continuación y reflejado de forma gráfica en la Figura 5:

1. Todos los alumnos que acceden a las pruebas de acceso a la universidad disponen de un carnet o tarjeta inteligente identificadora, o una app con la cual se pueda identificar al estudiante mediante un código QR o tecnología NFC. Se podría pensar en integrar esta funcionalidad en la app del pasaporte educativo propuesto en el anterior apartado.
2. Tras la identificación, el alumno obtiene su examen con un código identificatorio único para evitar que se produzcan falsificaciones y puede realizarlo en el tiempo estipulado.
3. A la hora de entregar el examen el alumno entrega al personal responsable de vigilar el examen sus hojas y, mediante el carnet identificatorio se procede al escaneo y subida de los archivos cifrados a una plataforma que guarda los documentos escaneados cifrados en un sistema de almacenamiento distribuido y registra la evidencia de estos en la blockchain.
4. El personal autorizado puede requerir el acceso de los datos cifrados y descargarlos del sistema de almacenamiento empleando la plataforma. Si sus credenciales son válidas es posible obtener los ficheros del examen escaneado, con lo que puede proceder a la corrección.
5. Los profesores también podrían realizar el mismo proceso para subir las puntuaciones y correcciones u otros documentos al sistema distribuido y registrándolo en la blockchain.
6. A través de la plataforma, el alumno también podría ser capaz de acceder y consultar su examen o las correcciones subidas por el profesor.

Gracias al sistema de registro de evidencias en una red blockchain, los archivos guardados y encriptados no pueden ser alterados ni modificados, garantizando así un mayor nivel de seguridad ante plagios o

ante pérdidas de información, como el de un sistema centralizado donde un error puede tener graves consecuencias, como las mencionadas anteriormente.

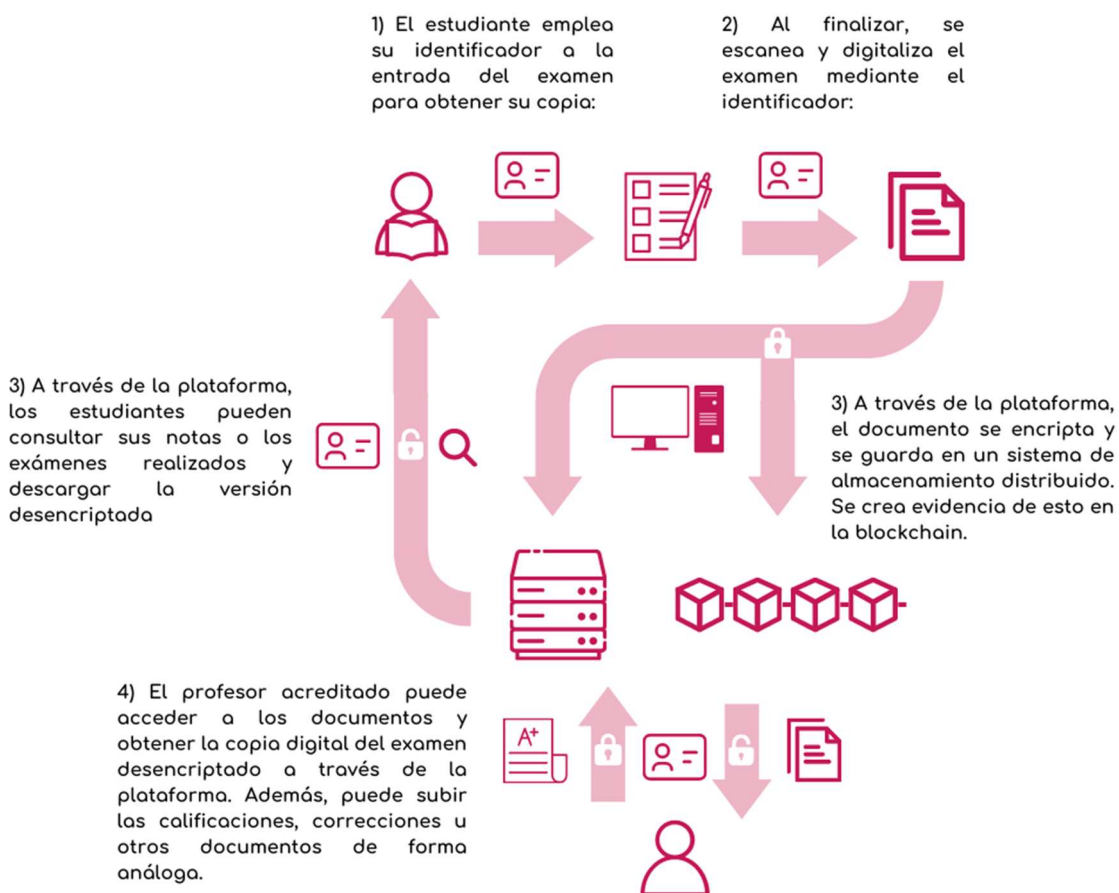


Figura 5. Diagrama de funcionamiento de una prueba de acceso a la universidad basada en blockchain.

Los exámenes de acceso a la universidad suelen alejarse del modelo de exámenes de tipo test, por lo que el modelo planteado por Ramos-Sosa, M. D. P et al. (2020) no parece sencillo de implementar en este caso. No obstante, se sugiere la posibilidad de seguir desarrollando un modelo y estudiar la posibilidad de implementar los smart contracts para el diseño de exámenes de acceso a la universidad basándose en esta propuesta.

4.3. Una red blockchain en el sector de la educación pública

Durante este trabajo nos hemos centrado, principalmente, en los aspectos del sistema educativo más directamente relacionados con los procesos educativos que involucran a los estudiantes, como la expedición de títulos académicos o insignias, la aplicación de blockchain en pruebas y exámenes, la creación de perfiles o pasaportes académicos, o el uso de NFT como recursos. Sin embargo, también es conveniente hacer un acercamiento a la educación como sector laboral para ver cómo las tecnologías de la Web 3.0 podrían beneficiar al sector docente.

En el caso de España y según las cifras del Ministerio de Educación y Formación Profesional (*Estadística de las Enseñanzas no universitarias. Estadística del profesorado. Curso 2022-2023. Datos Avance.*, s. f.), el sector docente (en el que no sólo se incluyen profesores de Educación Secundaria y Bachillerato, sino también de Primaria, Formación Profesional y otros) ha contado, para el curso 2022-2023, hasta con 758.594 profesionales, 548.880 en el sector público. Puesto que la estadística se realiza en función del tipo de centro, es difícil saber con exactitud el número de profesores de secundaria y bachillerato que existen exactamente.

Los requerimientos que habilitan a un profesional a ser profesor en secundaria y bachillerato vienen estipulados según el Real Decreto 860/2010, de 2 de julio, y vienen a determinar que para poder ejercer la labor docente es necesario estar en disposición del Máster universitario requerido, al cual pertenece este trabajo.

Ya hemos visto cómo un sistema de emisión de títulos mediante blockchain puede agilizar los procesos burocráticos necesarios para la validación y verificación de títulos académicos, así como la creación de pasaportes académicos en los que se pueden emplear insignias inteligentes para la búsqueda de empleado en base a la formación del usuario. En esta propuesta se pretende trasladar ese modelo al sector de la educación pública, incluyendo la capacidad para verificar que el

usuario dispone de los requerimientos necesarios para poder ejercer la labor docente en la etapa de educación secundaria y bachillerato. Esto es, emitiendo la titulación del Máster universitario habilitante para ello en modelo de una red blockchain como hemos ido viendo hasta ahora.

Se ha mencionado antes el proyecto QualiChain, un proyecto financiado por la Unión Europea que busca crear una plataforma de verificación de credenciales académicos y laborales basada en blockchain (KMi, 2021-a). Uno de los sectores en los que QualiChain ofrece soluciones es precisamente el del sector público. Podemos fijarnos en dos de las soluciones que QualiChain propone en el ámbito del sector público en su sitio web.

La primera es una propuesta piloto está planteada para Portugal en la cual se modela un sistema de emisión y validación de certificados a través de la plataforma FenixEdu y está orientada a dotar de personal al sector público. Esta plataforma inserta los certificados de las diferentes instituciones educativas en la red blockchain de QualiChain, a la cual las administraciones públicas pueden acceder para verificar esos certificados (KMi, 2021-b).

La segunda es una propuesta piloto planteada para Grecia, en la que se propone un modelo basado en la red blockchain de QualiChain. En esta propuesta piloto, los opositores a puestos públicos podrían recibir notificaciones de empleo público en base a sus requerimientos, y las administraciones públicas podrían verificar la elegibilidad del opositor a través de sus certificaciones en la red QualiChain, optimizando y agilizando el proceso de selección de personal (KMi, 2021-c).

En esta propuesta, se plantea la posibilidad de aunar ambas propuestas piloto, la portuguesa y la griega, para crear una red blockchain de empleabilidad para el sector de la educación pública en España. A través de este modelo, las certificaciones y acreditaciones requeridas para la función docente (esto es, el título de máster correspondiente) se emitirían empleando una red blockchain como QualiChain o análoga. De esta forma, los docentes que optaran a plazas públicas podrían emplear esta red para obtener sugerencias de empleo relacionadas por parte de las administraciones públicas, que podrían

verificar fácilmente las habilitaciones del opositor mediante su titulación en la blockchain.

Hemos mencionado antes la iniciativa de la European Blockchain Partnership (EBP), que pretende crear una infraestructura común para los países miembros de la Unión, la llamada European Blockchain Services Infrastructure (EBSI). La propuesta de creación de una blockchain orientada al sector de la educación pública podría estudiarse dentro del marco de la EBP, y se sugiere la posibilidad de incluirse en dicha red.

Se podría estudiar también la viabilidad del uso de los contratos inteligentes de la blockchain para verificar ciertas condiciones de los docentes de forma ágil y automatizada, como la habilitación para impartir determinadas materias en función de la titulación del candidato, el cumplimiento de condiciones para la obtención de retribuciones económicas orientadas al funcionariado (como lo son los trienios), etc.

5. Conclusiones y vías de investigación futuras

El concepto de Web 3.0 nace como respuesta a la monopolización del contenido y de nuestros datos por parte de las grandes compañías de Internet, y cuyo objetivo es el de una Web descentralizada donde los usuarios retomen el poder y control de sus datos.

La descentralización es un proceso que se puede entender a diferentes niveles. Podemos entenderla a nivel de los datos: en vez de guardar la información en un único lugar podemos emplear una red blockchain mediante la cual todos sus nodos tienen una copia de un libro de cuentas mayor, un registro compartido donde nada escrito en él puede alterarse o modificarse. En esa red blockchain, cualquiera con permiso podría verificar la información o parte de ella de forma transparente, segura y garantizando la privacidad. O podemos entenderla desde una perspectiva más amplia, como el proceso en el que las administraciones centrales delegan en otras más pequeñas, distribuyendo su poder y sus competencias.

A lo largo de este trabajo hemos visto el gran potencial de la tecnología blockchain y sus posibles aplicaciones en el ámbito de la educación. Desde la Unión Europea se analiza e incluso se fomenta este tipo de soluciones, principalmente centradas en la emisión de títulos académicos. Se pretende así crear un marco común en el que las diferentes instituciones puedan participar, facilitando la verificación de títulos, agilizando y abaratando procesos burocráticos y blindando el sistema ante fraudes o falsificaciones. Otros proyectos exploran las posibilidades de esta tecnología, empleando la tecnología blockchain para crear insignias inteligentes, como medida de aseguramiento para la realización de exámenes online, o incluso para el uso de certificados digitales NFT o el uso de NFT como recompensas para el alumno.

Ninguna de esa bibliografía hace referencia a la educación secundaria, a pesar de la gran importancia que esta etapa educativa tiene

en la sociedad. Por ello, se realizan en este trabajo tres propuestas de modelos basados en blockchain con el fin de integrar esta tecnología en la etapa de educación secundaria, tratando de aplicarla para aquellos casos en los que un proceso descentralizador pueda aportar beneficios y ventajas, así como un marco común dentro del contexto y paradigmas actuales.

Sin embargo, la tecnología blockchain no está exenta de problemática. El elevado costo computacional de algunos algoritmos de consenso, necesarios para garantizar las virtudes de esta tecnología, supone un ingente coste energético, con todas las consecuencias medioambientales que eso supone. Para solventar esta problemática existen dos líneas de desarrollo paralelas: las que avanzan en la definición de algoritmos de consenso que requieren menos carga computacional (y por tanto menos coste energético) y aquellas que tratan de alimentar las redes blockchain con energía limpia.

Al problema medioambiental se le suma el estigma negativo en torno a la tecnología blockchain debido a su estrecha relación con las criptomonedas y algunas prácticas especulativas de las que algunos se aprovechan, o por su relación con los NFT, muchas veces estrechamente relacionados con estafas, el cuestionamiento de su utilidad real u otras polémicas.

En este trabajo se ha realizado un acercamiento a la Web 3.0 y a la tecnología blockchain partiendo desde un desconocimiento sobre cómo la aparición de estas tecnologías y sus planteamientos descentralizadores podrían cambiar la educación. Esto se ha hecho con el objetivo de ver cómo podrían influir estas tecnologías a los diferentes aspectos del sistema educativo. Dado que la blockchain es una tecnología de registro o libro mayor la mayoría de las aplicaciones afectan, sobre todo, a los aspectos administrativos del sistema educativo: emisión de títulos y certificados, iniciativas orientadas al sector público, etc. Las aplicaciones pedagógicas basadas en blockchain son difíciles de encontrar. En este trabajo se han abordado algunas de ellas, como el uso de NFT como recurso de gamificación y ofrecer recompensas a los estudiantes o el uso de redes blockchain para facilitar la creación y personalización de

exámenes, pero siguen siendo excepciones a unas aplicaciones que tienden a aplicarse a los aspectos más administrativos.

Como vías de investigación futuras se propone estudiar las propuestas planteadas y realizar un modelo real de ellas para poder implementarlas en un entorno controlado y comprobar su eficacia. Además, dada la escasa bibliografía al respecto y lo comentado anteriormente, se debe continuar explorando las posibilidades que estas tecnologías pueden ofrecer en el ámbito pedagógico y también para la etapa de la educación secundaria.

En adición, el espíritu descentralizador de la Web 3.0 no tiene por qué limitarse a la gestión de los datos, sino que otros niveles de esta descentralización se deben explorar. Ya se han visto ejemplos en este trabajo, también sustentados en la tecnología blockchain, en los que el foco pasa de las instituciones académicas a los estudiantes. Estas propuestas, como la creación de un pasaporte académico, no se centran en qué pueden ofrecer las instituciones por los alumnos, sino en cómo los alumnos pueden forjarse una trayectoria y un perfil individualizado a partir de lo que estas instituciones pueden ofrecerles. Cabe preguntarse cómo sería un sistema educativo totalmente descentralizado, donde la importancia recayera únicamente sobre el alumno, máxime protagonista de los procesos de enseñanza-aprendizaje.

Referencias

Wikipedia contributors. (2023). Decentralization. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Decentralization>

Administraciones educativas. (s. f.). | Ministerio de Educación y Formación Profesional. <https://educagob.educacionyfp.gob.es/comunidad-educativa/administraciones-educativas.html>

Rodríguez, D. (2022). Qué es la educación descentralizada y cómo puede cambiar el mundo de la educación. Blogthinkbig.com. <https://blogthinkbig.com/educacion-descentralizada>

Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación.

Grech, A., & Camilleri, A. F. (2017). Blockchain in education. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Tesouro Cid, M. y Puiggalí Allepuz, J. (2004). Evolución y utilización de internet en la educación. Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación, 24, 59-67.

Rojas, J. (2022, 14 diciembre). 5 aplicaciones Web 3.0 y ejemplos que debes conocer. Telefónica. <https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/blog/5-aplicaciones-web-3-0-y-ejemplos-que-debes-conocer/>

Codina, L. (2009). ¿Web 2.0, web 3.0 o web semántica?: el impacto en los sistemas de información de la web. In I Congreso Internacional de Cyberperiodismo y Web (Vol. 2).

Colaboradores de Wikipedia. (2023a). Web 3.0. Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Web_3.0

Colaboradores de Wikipedia. (2023b). World Wide Web. Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/World_Wide_Web

- Goel, A. K., Bakshi, R., & Agrawal, K. K. (2022). Web 3.0 and Decentralized Applications. The 2nd International Conference on Innovative Research in Renewable Energy Technologies (IRRET 2022). <https://doi.org/10.3390/materproc2022010008>
- The birth of the Web | CERN. (2023, 26 mayo). <https://home.cern/science/computing/birth-web>
- Colaboradores de Wikipedia. (2021a). NSFNet. Wikipedia, la enciclopedia libre. <https://es.wikipedia.org/wiki/NSFNet#:~:text=Acr%C3%B3nimo%20ingl%C3%A9s%20de%20National%20Science,ARPANET%20como%20backbone%20de%20Internet.>
- Colaboradores de Wikipedia. (2023c). Web 2.0. Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Web_2.0
- Dabit, N. (2021). What is Web3? The Decentralized Internet of the Future Explained. freeCodeCamp.org. <https://www.freecodecamp.org/news/what-is-web3/>
- Rosenberg, M., Confessore, N., & Cadwalladr, C. (2019, 19 marzo). How Trump Consultants Exploited the Facebook Data of Millions. The New York Times. <https://www.nytimes.com/2018/03/17/us/politics/cambridge-analytica-trump-campaign.html>
- Wiki. (s. f.). https://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/14002984/helvia/aula/archivos/repositorio/2000/2167/html/averroes_web2_0/wiki.htm
- García, M. (2023). ¿Qué es y para qué sirve la web 2.0? Aula 10 Centro de Formación. <https://aula10formacion.com/blog/blogue-es-y-para-que-sirve-la-web-2-0/>
- Iredale, G. (2023). Blockchain vs Database: Understanding The Difference. 101 Blockchains. <https://101blockchains.com/blockchain-vs-database-the-difference/>

- Colaboradores de Wikipedia. (2022). Web semántica. Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Web_sem%C3%A1ntica
- Research. (s. f.). <https://openai.com/research/overview>
- Duarte, F. (2023, 16 mayo). Number of ChatGPT Users (2023). Exploding Topics. <https://explodingtopics.com/blog/chatgpt-users>
- Miao, F., Holmes, W., Huang, R., & Zhang, H. (2021). AI and education: A guidance for policymakers. UNESCO Publishing.
- Geroni, D. (2023). Blockchain For Beginners: Getting Started Guide. 101 Blockchains. <https://101blockchains.com/blockchain-for-beginners/>
- Colaboradores de Wikipedia. (2023d). Función hash. Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Funci%C3%B3n_hash
- Anwar, H. (2023a). Consensus Algorithms: The Root of Blockchain Technology. 101 Blockchains. <https://101blockchains.com/consensus-algorithms-blockchain/>
- ¿Qué es la tecnología Blockchain? - IBM Blockchain | IBM. (s. f.). <https://www.ibm.com/es-es/topics/blockchain>
- Anwar, H. (2023b). How Does Blockchain Work: Simply Explained. 101 Blockchains. <https://101blockchains.com/how-does-blockchain-work/>
- Blockchains. (2023). What Is A Smart Contract? A Complete Guide. 101 Blockchains. <https://101blockchains.com/what-is-a-smart-contract/>
- Golosova, J., & Romanovs, A. (2018, November). The advantages and disadvantages of the blockchain technology. In 2018 IEEE 6th workshop on advances in information, electronic and electrical engineering (AIEEE) (pp. 1-6). IEEE.
- Pérez, E. (2022). El Bitcoin contamina casi tanto como la gasolina. En vez de «oro digital» ha acabado siendo un "petróleo. . . Xataka. <https://www.xataka.com/criptomonedas/bitcoin-contamina-casi->

[como-gasolina-vez-oro-digital-ha-acabado-siendo-petroleo-digital#:~:text=1%20BTC%20%3D%2011.314%20d%C3%B3lares%20de,en%20da%C3%B1os%20a%20la%20naturaleza.](#)

Weston, G. (2022). Crypto Token – A Comprehensive Guide. 101 Blockchains. <https://101blockchains.com/crypto-token/>

Colaboradores de Wikipedia. (2023e). Token no fungible. Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Token_no_fungible

S, R. A. (2023). Discover NFTs: Your Ultimate Guide to Non-Fungible Tokens. Simplilearn.com. <https://www.simplilearn.com/tutorials/blockchain-tutorial/what-is-nft>

Yolanda, D., Hindersah, H., Hadiatna, F., & Triawan, M. A. (2016, October). Implementation of real-time fuzzy logic control for NFT-based hydroponic system on Internet of Things environment. In 2016 6th International Conference on System Engineering and Technology (ICSET) (pp. 153-159). IEEE.

Taherdoost, H. (2023). Non-Fungible Tokens (NFT): A Systematic Review. Information, 14(1), 26.

Constitución Española. Boletín Oficial del Estado, 29 de diciembre de 1978, núm. 311, pp. 29313 a 29424

Autorización de apertura y funcionamiento de Centros Privados. (s. f.). Ministerio de Educación y Formación Profesional. <https://www.educacionyfp.gob.es/servicios-al-ciudadano/catalogo/centros-docentes/servicios-generales/centros-privados-autorizacion-apertura.html>

KMi, D. D.-. (2019, 17 enero). Open BlockChain. Open BlockChain. <https://blockchain.open.ac.uk/about/>

Gómez Ortega, J., Castro Iragorri, C. A., Ariño Martín, L. A., Hernández Fernández, J. L., López García, D. R., Martínez Martínez, R., ... & Tenorio Fornés, A. (2019). Blockchain en la universidad: TIC 360º, 2019.

Blockcerts. (s. f.-a). Blockchain Credentials. Blockcerts.
<https://www.blockcerts.org/guide/>

Blockcerts. (s. f.-b). Blockchain Credentials. Blockcerts.
<https://www.blockcerts.org/about.html>

Universidad Digital. (2021). La UMU pionera en el uso de Blockchain en el ámbito nacional y europeo. <https://digital.um.es/la-umu-pionera-en-el-uso-de-blockchain-en-el-ambito-nacional-y-europeo/>

Certificados Blockchain Crue 27/10/2021 - ATICA. (s. f).
<https://www.um.es/web/atica/comunicacion/noticias/certificadosblockchain-crue>

EU Blockchain Observatory and Forum. (2023, 14 febrero). Shaping Europe's digital future. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/eu-blockchain-observatory-and-forum>

Third, A., Quick, K., Valentine, C., Bachler, M., Domingue, J., & Knowledge Media Institute of the Open University. (2019). Blockchains and Education: An academic paper prepared by the Knowledge Media Institute of the Open University for the European Union Blockchain Observatory and Forum. European Union Blockchain Observatory and Forum.
https://www.eublockchainforum.eu/sites/default/files/research-paper/blockchain_observatory_education.pdf

European Blockchain Partnership. (2023, 14 febrero). Shaping Europe's digital future. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/blockchain-partnership>

What is EBSI - EBSI -. (s. f). https://ec.europa.eu/digital-building-blocks/wikis/display/EBSI/What+is+ebsi#foranchoring_two

European Blockchain Service Infrastructure (EBSI). (2019, 28 noviembre). Meet #EUBlockchain: The European Blockchain Services Infrastructure (EBSI) [Vídeo]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=m2uj7fqb2Jl>

- EBSI Verifiable Credentials Playbook - EBSI Specifications -. (s. f.). <https://ec.europa.eu/digital-building-blocks/wikis/display/EBSIDOC/>
- Nayia. (2018, 29 noviembre). Blockchain Certificates - Institute For the Future. Institute For the Future. <https://www.unic.ac.cy/iff/blockchain-certificates/>
- Smartdegrees. (s. f.). La Universidad Carlos III de Madrid emite certificaciones de títulos en blockchain. Smart Degrees. <https://www.smartdegrees.es/la-universidad-carlos-iii-de-madrid-emite-certificaciones-de-titulos-en-blockchain/>
- Unir. (s. f.). UNIR research. Universidad Internacional de la Rioja. 1995-2014. <http://research.unir.net/blog/potente-certificacion-con-sistema-blockchain/?lang=es>
- Mikroyannidis, A.; Third, A.; Chowdhury, N.; Bachler, M. and Domingue, J. (2020-a). Supporting Lifelong Learning with Smart Blockchain Badges. International Journal On Advances in Intelligent Systems, 13(3 & 4) pp. 163-176.
- Issue | IMS Open Badges. (s. f.). <https://openbadges.org/issue>
- Build | IMS Open Badges. (s. f.). <https://openbadges.org/build>
- KMi, D. D.-. (2021-a, 10 noviembre). Qualichain. Qualichain. <https://qualichain-project.eu/about/>
- Un enfoque europeo de las microcredenciales. (s. f.). European Education Area. <https://education.ec.europa.eu/es/education-levels/higher-education/micro-credentials>
- Panagiotidis,P.(2022).Blockchain in Education - The Case of Language Learning. European Journal of Education,5(1) 66-82. <https://doi.org/10.26417/443gjm83>
- Zhao, X., & Si, Y. W. (2021, December). NFTCert: NFT-based certificates with online payment gateway. In 2021 IEEE International Conference on Blockchain (Blockchain) (pp. 538-543). IEEE.

- Elmessiry, A., Elmessiry, M., & Bridgesmith, L. (2021). NFT student teacher incentive system (NFT-stis). Available at SSRN 4120879.
- Mikroyannidis, A., Third, A., & Domingue, J. (2020-b). A case study on the decentralisation of lifelong learning using blockchain technology. *Journal of Interactive Media in Education*, 2020(1), 1-10.
- Educación Secundaria - ESO y Bachiller. (s. f.). Alemania, Dinamarca, Finlandia, Islandia, Noruega y Suecia | Ministerio de Educación y Formación Profesional.
<https://www.educacionyfp.gob.es/alemania/reconocimiento-titulos/para-extranjeros/educa-secundaria.html>
- Sánchez, J. (2013). Qué dicen los estudios sobre el Aprendizaje Basado en Proyectos. *Actualidad pedagógica*, 1(4), 1-4.
- Nebra, O. (2023, 23 junio). «Mi primera reacción fue ponerme a llorar»: la Universidad perdió uno de sus exámenes de la EBAU y ha tenido que volver a hacerlo. cadena SER.
<https://cadenaser.com/nacional/2023/06/23/parece-una-broma-pero-es-verdad-se-pierden-38-examenes-de-la-evau-cadena-ser/>
- Ramos-Sosa, M. D. P., Cabrera, D., & Moreno, B. (2020). Blockchain and smart contracts for education.
- Zhu, X., & Cao, C. (2021). Secure online examination with biometric authentication and blockchain-based framework. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021.
- De Servicios Informáticos De La Universidad Nacional De Educación A Distancia, C. (s. f.). UNED | Cómo examinarte de un Grado.
http://portal.uned.es/portal/page?_pageid=93,55049215&_dad=portal&_schema=PORTAL
- Estadística de las Enseñanzas no universitarias. Estadística del profesorado. Curso 2022-2023. Datos Avance. (s. f.). Ministerio de Educación y Formación Profesional.
<https://www.educacionyfp.gob.es/servicios-al-ciudadano/estadisticas/no-universitaria/profesorado/estadistica/2022-2023-da.html>

Real Decreto 860/2010, de 2 de julio, por el que se regulan las condiciones de formación inicial del profesorado de los centros privados para ejercer la docencia en las enseñanzas de educación secundaria obligatoria o de bachillerato.

KMi, D. D.-. (2021-b, marzo 30). Qualichain. Qualichain. <https://qualichain-project.eu/pilots/staffing-the-public-sector-the-case-of-portugal/>

KMi, D. D.-. (2021-c, mayo 17). Qualichain. Qualichain. <https://qualichain-project.eu/pilots/staffing-the-public-sector-the-case-of-greece/>